

**MODEL SUSUNAN BILAH BAMBU VERTIKAL
ANTAR SISI BILAH YANG SAMA TERHADAP
KERUNTUHAN LENTUR**

*the vertical bamboo-lath series model the same layer over bending
collapes*

SKRIPSI

Disusun untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Sebelas Maret
Surakarta



Disusun Oleh :

Rina Sarikusuma

Nim : I 0105114

**JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2010**

BAB 1

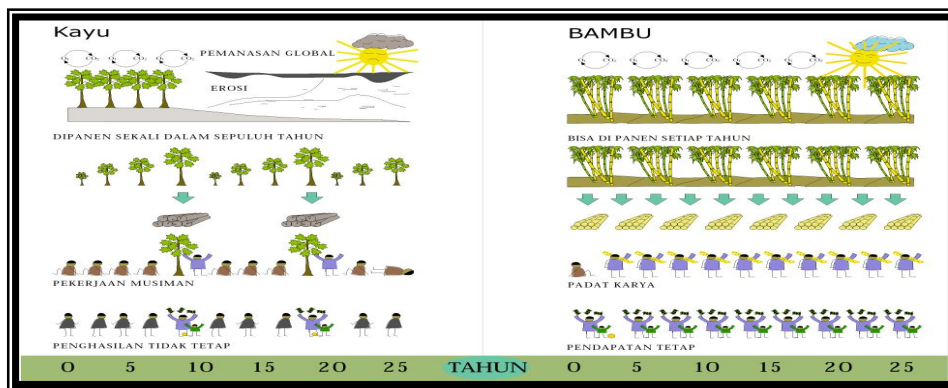
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Kayu merupakan produk hasil alam yang berasal dari tumbuhan atau pepohonan yang dapat dimanfaatkan oleh manusia untuk berbagai kebutuhan seperti digunakan sebagai bahan pembentuk dan pelengkap struktur bangunan. Masyarakat telah lama mengenal penggunaan kayu dalam konstruksi bangunan seperti pada struktur kuda-kuda atau rangka rumah, struktur bangunan komersial, jembatan, dan struktur lainnya. Kayu dipilih sebagai bahan struktur karena ringan, dan memerlukan peralatan yang sederhana dalam proses pengerjaannya.

Seiring dengan meningkatnya perkembangan jumlah penduduk, kebutuhan akan perumahan meningkat pula, yang berarti juga mengakibatkan meningkatnya kebutuhan akan kayu. Padahal di dalam penggunaannya, kayu memiliki beberapa kelemahan yang menjadi kendala dalam struktur bangunan seperti kayu dapat mengalami kerusakan (*deterioration*) oleh serangan jamur, rayap, dan pengelolaan hutan sebagai sumber utama kayu tidak dilakukan secara berkesinambungan. Kebutuhan kayu yang berlebihan akan dapat mengakibatkan penebangan kayu hutan dalam jumlah banyak dan membahayakan kelestarian hutan. Untuk menjaga kelestarian hutan, kiranya perlu dicari bahan bangunan lain sebagai pengganti kayu hutan, diantaranya adalah bambu (Morisco, 1999).

Bambu merupakan salah satu material konstruksi yang tersebar di seluruh daerah tropis dan subtropis. Penggunaan bambu sudah banyak terlihat dalam konstruksi bangunan. Berdasarkan data, pemanfaatan bambu telah memberikan pendapatan, makanan dan perumahan pada lebih dari 2,2 milyar penduduk di seluruh dunia (Shupe T.F dkk, 2002).



Gambar 1.1 Ilustrasi Perbandingan Penggunaan Kayu dan Bambu
(Garland, 2003)

Gambar 1.1 menceritakan perbandingan penggunaan kayu dan bambu dimana pada penggunaan kayu membutuhkan waktu yang lama untuk memanennya, karena kayu hanya dapat dipanen 10 tahun sekali. Sedangkan bambu dapat dipanen tiap tahun. Pekerjaan untuk kayu hanya ada pada waktu tertentu atau musiman sedangkan bambu bisa tiap tahun sehingga padat karya. Hal ini menyebabkan untuk pekerja kayu penghasilannya tidak tetap sedangkan pekerja bambu penghasilannya tetap.

Jansen JJA (1988) memberikan rekomendasi tentang keunggulan bambu sebagai berikut:

- Bambu dapat tumbuh sangat cepat dan dapat dibudidayakan secara cepat dan modal dapat berputar berkesinambungan
- Bambu mempunyai sifat-sifat mekanika yang baik
- Pengerjaan bambu hanya membutuhkan alat sederhana
- Kulit luar bambu mengandung banyak silika yang membuat bambu terlindungi.

Morisco (1999) melakukan pengujian kuat tarik kulit bambu ori dengan hasil cukup tinggi yaitu hampir mencapai 5000 kg/cm^2 atau sekitar dua kali tegangan luluh baja.

Bambu juga tahan terhadap lentur. Hal ini disebabkan bambu memiliki serat yang sejajar. Serat tersebut memungkinkan bambu menahan lendutan yang lebih besar.

Namun, tidak semua bambu mempunyai kekuatan yang sama. Umur dan dimensi bambu ikut menentukan kekuatan bambu.

Bambu memiliki beberapa kelemahan bila ditinjau sebagai material struktur, salah satunya adalah dibutuhkan upaya pengawetan bambu. Proses pengawetan yang cukup dapat melindungi bambu dari serangan hama ataupun keropos. Kekuatan bambu juga tidak seragam sepanjang bentang, walaupun bentuk bambu yang bundar berongga menyebabkan meningkatnya momen inersia, namun kekuatannya lebih ditentukan umur dan kandungan sel mati yang menjadi penyusun batang bambu tersebut.

Pemakaian bambu yang masih berbentuk bulat sebagai balok struktur, dirasa masih belum cukup mampu dalam konstruksi bangunan. Untuk itu dikembangkanlah teknik pengolahan balok bambu dengan cara laminasi, yaitu menggabungkan sejumlah lapisan-lapisan bilah bambu yang direkatkan menjadi satu kesatuan menjadi suatu elemen balok dengan panjang bentang dan dimensi penampang yang dapat dibentuk sesuai dengan kebutuhan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasar permasalahan di atas, maka dalam penelitian ini akan mengkaji tentang model susunan vertikal bilah bambu saling berhadapan antara kulit dan daging pada balok glulam bambu petung pada ketahanan terhadap keruntuhan lentur.

1.3. Batasan Penelitian

Pada penelitian ini, tinjauan bahasan dibatasi pada:

- a. Jenis bambu yang digunakan adalah bambu petung,
- b. Bahan perekat yang digunakan adalah *Urea Formaldehyda* (UF) yang diproduksi oleh PT. Pamolite Adhesive Industry, Probolinggo, Jatim, selaku instansi pendukung dalam penelitian ini,

- c. Susunan bilah bambu yang digunakan adalah susunan bilah bambu vertikal antara kulit dengan kulit dan daging dengan daging,
- d. Tekanan kempa yang digunakan 3 MPa,
- e. Jumlah perekat terlabur menggunakan 50/MDGL,

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kuat lentur balok laminasi bambu dengan susunan bilah bambu vertikal yang saling berhadapan antara kulit dan daging bambu.

1.5. Manfaat Penelitian

- a. Memberikan bahan alternatif pengganti kayu
- b. Memberikan kontribusi dalam ilmu teknik sipil, sehingga dapat bermanfaat dalam penelitian selanjutnya

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Bambu Petung

Bambu adalah tanaman yang dapat tumbuh dari daerah rendah sampai ke daerah pegunungan dengan ketinggian 3000 m dari permukaan laut. Di tempat terbuka dan bebas dari genangan air sangat cocok untuk pertumbuhan bambu. Bambu tumbuh sangat cepat, selama kurang lebih 2,5 tahun tinggi bambu mencapai 50 sampai 100 ft.

Menurut Sharma (1987) dalam Morisco (2005) jumlah spesies yang ada di Asia Selatan dan Asia Tenggara adalah 80% dari keseluruhan spesies bambu yang ada di dunia. Lebih dari 75 genera dan 1250 spesies bambu tumbuh di dunia. Genus *Bambusa* mempunyai jumlah spesies paling banyak, tersebar di daerah tropis terutama di Indonesia.

Terdapat bermacam-macam bambu, tetapi dari ratusan jenis tersebut hanya ada empat macam saja yang dianggap penting. Jenis bambu tersebut umum dipasarkan di Indonesia, yaitu bambu petung, bambu tali, bambu duri dan bambu wulung (Frick, H, 2004). Bambu petung di Indonesia dikenal dengan nama botani *Dendrocalamus sp.*

Bambu dapat disamakan dengan kayu karena sama-sama organisme natural yang memiliki kemampuan beradaptasi dengan lingkungan sekitar yang cukup baik. Tanaman ini dapat hidup di lingkungan tropis hingga subtropis dan dapat ditemukan hampir di semua benua (Zheng Kai MSc dan Chen Xuhe PhD, 2006).

Bambu jenis ini agak mempunyai rumpun agak rapat, dapat tumbuh di dataran rendah sampai pegunungan dengan ketinggian 2000 m di atas permukaan air laut.

Pertumbuhan cukup baik khususnya untuk daerah yang tidak terlalu kering. Warna kulit batang hijau kekuning-kuningan. Batang dapat mencapai panjang 10-14 m, panjang ruas berkisar antara 40-60 cm, dengan diameter 6-15 cm, tebal dinding 10-15 mm. Morisco (1994-1999), kuat tarik rata-rata bambu petung lebih tinggi dari tegangan luluh baja, hanya satu spesimen yang mempunyai kuat tarik lebih rendah dari tegangan luluh baja.

2.2. Gambaran Umum Sifat Mekanika Bambu

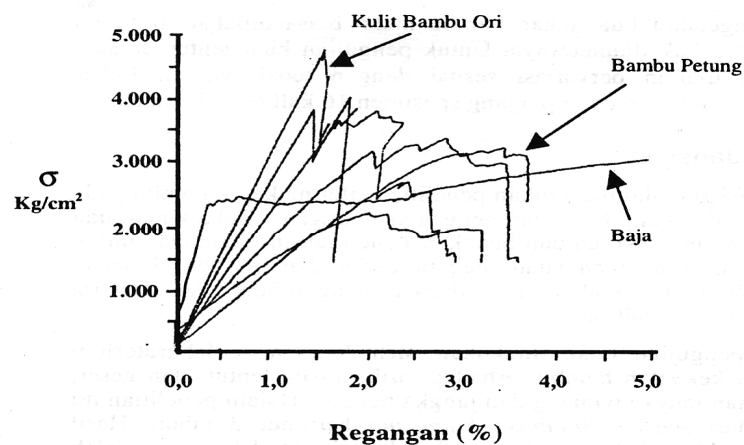
Sifat mekanika adalah sifat yang berhubungan dengan kekuatan bahan dan merupakan ukuran kemampuan suatu bahan untuk menahan gaya luar yang bekerja padanya. Sifat-sifat mekanika tersebut meliputi kekuatan lentur statis, kekuatan tarik, kekuatan geser, sifat kekerasan dan lain-lain.

Sifat mekanik khususnya diperoleh dari pengujian di laboratorium dengan berbagai pendekatan dan tinjauan teori. Pada dasarnya pengujian yang dilakukan tersebut untuk mengetahui secara pasti parameter ataupun besaran-besaran dari jenis bambu yang diamati, namun mengingat jenis bambu yang sangat banyak maka parameter dan besaran tersebut tidak dapat disetarakan untuk semua bambu. Hal ini yang menjadi tantangan bagi para peneliti, mengingat bambu adalah benda organik yang masa pertumbuhannya dapat dipengaruhi oleh berbagai macam pengaruh. Penggunaan bambu untuk tingkat lanjut atau untuk tujuan konstruksi dengan skala besar hendaknya dilakukan pengujian terhadap mutu dan kualitas dari bambu yang akan digunakan. Jenis bambu yang sama namun tumbuh di daerah berbeda juga tidak dapat menjamin memberikan kekuatan yang sama.

Penelitian mengenai bambu telah dilakukan oleh Janssen (1981) sejak tahun 1974 dengan melakukan pengujian yang didasarkan pada sifat mekanik bambu yaitu termasuk didalamnya adalah kuat tarik, kuat lentur dan geser baik dengan pembebanan jangka panjang ataupun pembebanan jangka pendek. Berdasarkan rangkaian pengujian tersebut diperoleh bahwa kuat tarik sejajar serat mencapai 2000 –3000 kg/cm², kuat lentur diperoleh rata-rata sebesar 840 kg/cm², dan kuat

geser bambu rata-rata adalah 22,5 kg/cm². Pengujian sifat fisik dan mekanik dilakukan untuk mengetahui secara pasti batasan penggunaan dari suatu bahan.

Selain itu dalam penelitian Morisco (1994-1999) memperlihatkan kekuatan tarik bambu dapat mencapai sekitar dua kali kekuatan tarik baja tulangan. Sebagai pembandingan dipakai baja tulangan beton dengan tegangan luluh sekitar 240 MPa yang mewakili baja beton yang banyak terdapat di pasaran. Diperoleh hasil bahwa kuat tarik kulit bambu ori cukup tinggi yaitu hampir mencapai 500 MPa, sedang kuat tarik rata-rata bambu petung juga lebih tinggi dari tegangan luluh baja, hanya satu spesimen yang mempunyai kuat tarik lebih rendah dari tegangan luluh baja. Hasil uji ini dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Diagram Tegangan-Regangan Bambu dan Baja
(Sumber: Morisco, 1999)

2.3. Balok Glulam (*Glue Laminated*)

Struktur balok laminasi (*glued laminated timber*) mulai diperkenalkan di Eropa pada akhir abad ke 19, berupa lapisan-lapisan kayu gergajian (*lumber*) yang dilekatkan dengan resin tertentu sehingga semua lapisan kayu gergajian seratnya sejajar pada arah memanjang (Breyer, 1998).

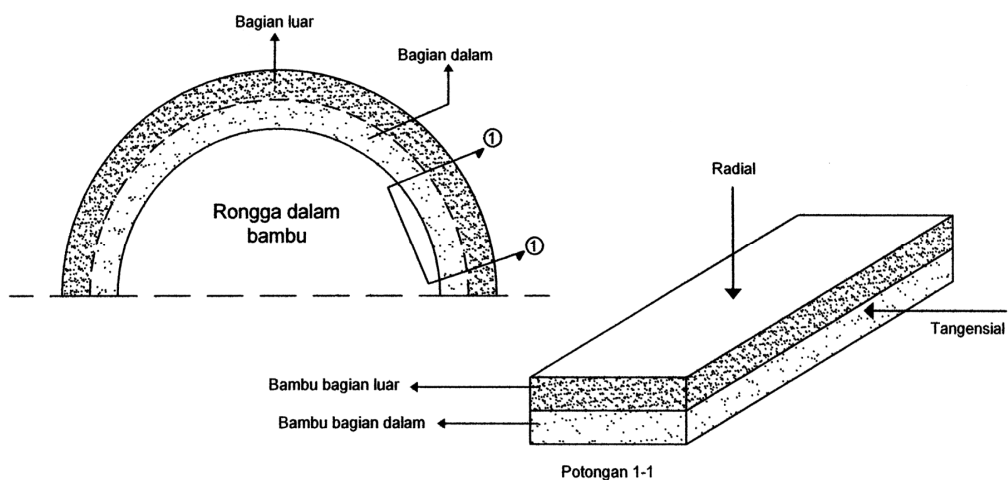
Selain itu beberapa kelebihan pada struktur glulam antara lain: ukuran dapat dibuat lebih tinggi, bentang yang lebih panjang, bentuk penampang dapat dibuat lengkung (*curved*) dan konfigurasi bentuk lonjong dapat dipabrikasi dengan mudah, dapat mengurangi perubahan bentuk dan reduksi kekuatan oleh cacat kayu dapat dibuat lebih acak (Blass dkk, 1995 dalam Widjaya, 2003). Material yang dipakai dalam balok juga dapat dipilih dari persediaan bahan laminasi yang berkualitas baik dan sifat/karakteristik alami yang membatasi kapasitas balok murni (*solid wood*) dapat diabaikan dalam balok glulam (Breyer, 1988).

Struktur glulam memiliki beberapa kelebihan dibanding dengan kayu gergajian yang solid. Yakni ukuran dapat dibuat lebih tinggi dan lebih lebar, bentangan lebih panjang dan konfigurasi bentuk difabrikasi dengan mudah. Karakteristik penting balok glulam menghasilkan kekuatan yang melebihi dibandingkan lapisan tunggal serta deformasi yang terjadi lebih kecil (Blass dkk, 1995).

Mengacu pada ASTM D1 3727-92 balok laminasi dibedakan menjadi dua yaitu : balok laminasi horisontal (*horizontally laminated*) dan balok laminasi vertikal (*vertically laminated*). Balok laminasi horisontal didefinisikan sebagai balok laminasi yang didesain untuk menahan beban lentur yang berarah tegak lurus lebar permukaan papan lapisan dan balok laminasi vertikal adalah balok laminasi yang didesain untuk menahan beban lentur yang berarah sejajar bidang lebar papan lapisan penyusun.

Percobaan yang dilakukan oleh Widjaja (1995) terhadap Bambu Ori dan Bambu Petung menunjukkan bahwa jenis bambu yang dipergunakan dalam pembuatan lamina sangat mempengaruhi kekuatan lamina dan tidak berarti bahwa satu jenis bambu memiliki kekuatan yang lebih tinggi secara keseluruhan dari jenis bambu yang lain. Kekuatan tarik akan lebih dipengaruhi oleh jumlah nodia, kekuatan tekan dipengaruhi oleh jenis bambu yang dipakai. Kekuatan lentur dan geser lamina tergantung dari jenis bambu dan jumlah perekat terlabur.

Menurut Nasriadi (2002) dalam Agus Setya Budi (2006), untuk menjelaskan penyebab terjadinya peningkatan kuat lentur pada balok laminasi, perlu diperhatikan beberapa hal berikut ini (lihat Gambar 2.2). Bagian yang terkuat pada bambu adalah bagian terluar terutama kulit. Kekuatan bambu bagian luar (kulit) ini sangat jauh lebih tinggi dari kekuatan bambu bagian dalam. Pembebanan pada balok laminasi vertikal adalah pada arah tangensial, sehingga yang menjadi kontrol terhadap kekuatan adalah bambu bagian luar. Hal ini menyebabkan kekuatan rata-ratanya menjadi tinggi.



Gambar 2.2 Pembebanan Arah Radial dan Tangensial pada Bambu

Menurut Salim (2006), dari hasil uji kekuatan lentur pengaruh lebar bilah terhadap MOR menunjukkan bambu petung asal Magelang dan Kulonprogo mempunyai kecenderungan lebar bilah 2,5 cm lebih kuat dari pada lebar bilah 3 cm yaitu 22,416%. Pengaruh jenis perekat menunjukkan MOR bambu petung cenderung lebih kuat jenis perekat *Urea Formaldehyda* daripada *Melamine Formaldehyda* yaitu 6,726%.

Kekuatan lentur adalah kekuatan untuk menahan gaya-gaya yang berusaha melengkungkan batang bambu atau menahan muatan mati atau hidup. Karena bambu merupakan bahan yang elastis, maka lendutan yang terjadi sesuai kekuatan bahan menjadi agak tinggi (rata-rata 1/20). Hal ini perlu diperhatikan pada

pembangunan gedung, di mana lendutan konstruksi biasanya tidak boleh melebihi 1/300 dari lebar bentang. Di Indonesia tegangan lentur yang diizinkan adalah 9.80 N/mm² (Frick, H, 2004).

Kekuatan lentur kayu biasanya dinyatakan dalam modulus retak (Modulus of Rupture : MOR) yang merupakan tegangan tertinggi dibagian serat paling luar kayu ketika gelagar retak/patah karena beban yang dikenakan secara berangsur-angsur selama beberapa menit. MOR bervariasi antara 55-160 N/mm² dan ini menunjukkan bahwa tegangan lentur sama dengan tegangan tarik sejajar serat (Sumarni, S, 2007).

2.4. Perekatan

Perekatan adalah proses penggabungan dua bagian atau lebih menjadi satu kesatuan dengan tambahan bahan perekat yang menyambungkan kedua bagian atau lebih tersebut menjadi bagian yang tak terpisahkan. Menurut Widjaya (1995) dalam Irawati (2004), cara-cara perekatan yang dilakukan apabila mengikuti prosedur perekatan yang baik sesuai dengan petunjuk-petunjuk yang dikeluarkan oleh lembaga riset perekat dan teknik-teknik perekatan maka kualitas perekatan akan mencapai maksimum, yang kadang mampu melebihi daya kohesi substrat dari bahan yang direkatkan.

Prayitno (1996), menyatakan beberapa faktor yang mempengaruhi dalam perekatan kayu antara lain adalah faktor perekat, faktor bahan yang direkat, teknik perekatan, cara pengujian dan aplikasi bahan. Faktor perekat dipengaruhi oleh bahan pengisi (*filler*), bahan pengembang (*extender*), bahan pengeras (*hardener*), bahan pengawet dan lain sebagainya. Adapun faktor bahan yang direkat dipengaruhi oleh struktur anatomi bahan, massa jenis, kadar air, sifat permukaan dan lain-lain.

Beberapa jenis bahan perekat yang dipergunakan pada struktur kayu laminasi antara lain: casein, urea formaldehyde, phenol formaldehyde, phenol-resorcinol

formaldehide, dan melamine-urea formaldehide. Pemilihan jenis bahan perekat sangat ditentukan oleh banyak hal seperti: kekuatan rekatan (bond strength), penggunaan struktur (*indoor-use* atau *outdoor-use*), dan kemudahan proses perekatannya (Awaludin dan Irawati, 2005).

Urea Formaldehida (UF) merupakan bahan berwarna putih dan encer. Perekat jenis ini bila dipergunakan secara betul dengan mengikuti petunjuk pemakaian akan mempunyai kemampuan untuk membentuk garis perekat yang bersifat antara lain hanya tahan terhadap pengaruh cuaca di dalam rumah dan segera akan menampakan kegagalan perekatan bila dipergunakan di luar rumah, tidak tahan terhadap suhu dan kelembaban yang ekstrim, tidak bersifat beracun dan tidak mudah terbakar. Bentuk dari perekat ini berupa larutan atau cairan yang mempunyai sifat tidak stabil dalam penyimpanannya karena sangat terpengaruh dengan keadaan luar sehingga dalam penyimpanannya harus pada tempat yang mempunyai pengatur suhu dan kelembaban rumah (Prayitno, 1994).

2.5. Pengempaan

Pengempaan perekatan atau rakitan perekatan bertujuan untuk menempelkan lebih rapat (*bringing into a close contact*) sehingga garis perekat dapat terbentuk serata dan sepejal mungkin dengan ketebalan yang setipis mungkin, oleh Selbo (1975) (Prayitno, 1996:42). Oleh karenanya penekanan rakitan yang cukup kuat dan seragam serta homogen pada semua permukaan bahan direkat sangat penting dan diharuskan. Pengempaan ini mengakibatkan pula penekanan perekat agar mengalir sisi (*flow*) atau meresap kedalam bahan direkat (*penetration*) dengan meninggalkan sebagian perekat yang tetap berada dipermukaan bahan direkat dalam bentuk film perekat yang kontinyu (bersambungan) dan dilanjutkan pengerasan perekat untuk menahan ikatan permukaan agar tetap kuat oleh Brown dkk (1952) dalam Prayitno (1996).

Teknik perekatan dengan bahan porus memerlukan alat pengempaan. Proses pengempaan dibagi menjadi dua tipe yaitu tipe pengempaan dingin dan tipe

pengempaan panas. Pengempaan dingin lebih unggul dibandingkan tipe pengempaan panas karena lebih murah pada ongkos dan dapat dilaksanakan pada produk laminasi struktural (Prayitno, 1996).

2.6. Tipe Keruntuhan Balok Laminasi

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Widjaya (1995) terhadap dua jenis bambu yaitu bambu ori dan petung, menunjukkan bahwa jenis bambu mempengaruhi tingkat kekuatan dari balok laminasi sehingga tidak berarti satu jenis bambu memiliki kekuatan yang lebih tinggi secara keseluruhan dari jenis bambu lainnya. Kekuatan tarik akan lebih dipengaruhi oleh jumlah ruas, kekuatan tekan akan lebih dipengaruhi oleh jenis bambu yang digunakan. Kekuatan lentur akan dipengaruhi oleh jenis bambu yang digunakan sedangkan kekuatan geser dipengaruhi oleh jumlah perekat terlabur.

Menurut Yasin (2003) dalam Yuniza (2005) terdapat dua kemungkinan kerusakan pada balok laminasi yaitu kerusakan karena lentur dan kerusakan karena geser. Pada umumnya kerusakan geser terjadi karena ketidaksempurnaan lekatan, untuk itu perlu diperhatikan daya lekat tiap lapisan sehingga tidak terjadi kerusakan geser karena kuat geser bambu tidak dapat diandalkan. Balok diusahakan mempunyai tampang simetris untuk mendapatkan kerusakan lentur dan apabila memiliki sambungan maka sambungan tersebut diharapkan mampu menahan lentur.

2.7. Klasifikasi Kekuatan Kayu

Dalam hal ini untuk mengetahui layak atau tidaknya balok laminasi bambu sebagai alternatif pengganti kayu, dari hasil uji pendahuluan dan kekuatan balok laminasi akan diklasifikasikan ke dalam jenis kelas kuat kayu. Sebagai acuan dapat dilihat dalam tabel hubungan berat jenis kayu dengan kekuatan kayu pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Hubungan berat jenis kayu dengan kekuatan kayu

Kelas kuat	Berat jenis kering udara	Kekuatan lentur mutlak (kg/cm ²)	Kekuatan tekan mutlak (kg/cm ²)
I	> 0,9	> 1100	> 650
II	0,9 - 0,6	1100 - 725	650 - 45
III	0,6 - 0,4	725 - 500	425 - 300
IV	0,4 - 0,3	500 - 350	300 - 215
V	< 0,3	< 350	< 215

Sumber : PKKI 1961

Dimana kayu jati termasuk kedalam kayu kelas awet II dengan berat jenis 0,62 – 0,75. Selengkapnya, pengklasifikasian macam-macam kayu yang ada di Indonesia berdasarkan kelas kuat dan kelas awet dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Pengklasifikasian Macam-Macam Kayu Berdasarkan Kelas Kuat dan Kelas Awet.

No.	Nama dalam perdagangan	Kelas Kuat	BD Kering Udara (gr/cm ³)			Kelas Awet
			minimum	maksimum	rata-rata	
1.	Duren	II-III	0,42	0,91	0,64	IV-V
2.	Cemara	I-II	0,79	1,16	1,02	II-III
3.	Kranji	I-II	0,84	1,04	0,93	I
4.	Bangkirai	I-II	0,6	1,16	0,91	I-II
5.	Keruing	(I)-II	0,51	1,01	0,79	III
6.	Meranti Putih	II-IV	0,29	0,96	0,54	II-III
7.	Meranti Merah	II-III	0,29	1,09	0,55	II-III
8.	Ulin, borneo atau pelembang kayu besi	I	0,88	1,19	1,04	I
9.	Mahoni	II-III	0,56	0,72	0,64	III
10.	Jati	II	0,59	0,82	0,7	I-(II)

Sumber : PKKI 1961

Kayu untuk keperluan bangunan umumnya dari kelas kuat I, II dan III dengan rasio kekuatan terhadap berat yang cukup tinggi, serta mempunyai kelas awet I atau II. Bila dari kelas awet III atau di bawahnya, maka kayu tersebut harus diawetkan terlebih dahulu (Abdurachman dan Hadjib, 2006).

Sebelumnya juga pernah dilakukan penelitian balok laminasi bambu petung dengan tipe yang berbeda, diantaranya :

1. Balok laminasi dengan susunan horisontal antar sisi bilah yang berlawanan, menghasilkan MOE 16425,6 MPa dan MOR 103,85 MPa (Asti Rahayu,2009)
2. Balok laminasi dengan susunan horisontal antar sisi bilah yang sama, menghasilkan MOE 16629,0111 MPa dan MOR 100,317 MPa (Analita,2009)
3. Balok laminasi dengan susunan vertikal antar sisi bilah yang berlawanan, menghasilkan MOE 17430,9351 Mpa dan MOR 105,4097 MPa (Devita,2009)

Selain acuan klasifikasi kuat kayu diatas, sebagai pedoman pengklasifikasian balok laminasi bambu petung dapat juga dipakai SNI 2002 yaitu kuat acuan berdasarkan atas pemilahan secara mekanis. Dimana sebagai acuannya dipakai tabel nilai kuat acuan dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Nilai Kuat Acuan (MPa) Berdasarkan Atas Pemilahan secara Mekanik pada Kadar Air 15 %.

Kode Mutu	Modulus Elastisitas Lentur Ew	Kuat Lentur Fb	Kuat Tarik Sejajar Serat Ft//	Kuat Tekan Sejajar Serat Fc//	Kuat Geser Fv	Kuat Tekan Tegak lurus Serat Fc \perp
E26	25000	66	60	46	6,6	24
E25	24000	62	58	45	6,5	23
E24	23000	59	56	45	6,4	22
E23	22000	56	53	43	6,2	21
E22	21000	54	50	41	6,1	20
E21	20000	50	47	40	5,9	19
E20	19000	47	44	39	5,8	18
E19	18000	44	42	37	5,6	17
E18	17000	42	39	35	5,4	16
E17	16000	38	36	34	5,4	15
E16	15000	35	33	33	5,2	14
E15	14000	32	31	31	5,1	13
E14	13000	30	28	30	4,9	12
E13	12000	27	25	28	4,8	11
E12	11000	23	22	27	4,6	11
E11	10000	20	19	25	4,5	10
E10	9000	18	17	24	4,3	9

BAB 3

LANDASAN TEORI

3.1. Sifat Mekanika Bambu

3.1.1 Perhitungan Kadar Air Bambu

Pengujian kadar air bambu berdasarkan prosedur ISO 3130-1975 dengan ukuran benda uji $t \times 20 \times 20$ mm dan dihitung menggunakan Persamaan 3.1.

$$Ka = \frac{W_b - W_a}{W_a} 100\% \quad (3.1)$$

dengan

Ka	= Kadar air bambu (%),
W _b	= Berat benda uji sebelum di oven (gram), dan
W _a	= Berat benda uji kering oven (gram).

3.1.2 Perhitungan Berat Jenis Bambu

Untuk menghitung besarnya berat jenis kering tanur bambu dipergunakan Persamaan 3.2.

$$BJ = \frac{W_a}{G_b} \quad (3.2)$$

dengan

BJ	= Berat jenis bambu ,
W _a	= Berat benda uji kering oven (gram), dan
G _b	= Berat air yang volumenya sama dengan volume benda uji kering oven (gram).

3.1.3 Kerapatan

Pengujian kerapatan bambu berdasarkan prosedur ISO 3131-1975 dengan ukuran benda uji $t \times 20 \times 20$ mm dan dihitung menggunakan Persamaan 3.3.

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \quad (3.3)$$

dengan ρ_w = Kerapatan bambu pada kadar air w (gram/cm³),
 m_w = Massa bambu pada kadar air w (gram), dan
 V_w = Volume bambu pada kadar air w (cm³).

3.1.4 Kuat Tekan Sejajar Serat

Pengujian kuat tekan sejajar serat bambu berdasarkan prosedur ISO 3132-1975 dengan ukuran benda uji adalah t x 20 x 60 mm dan dihitung menggunakan Persamaan 3.4.

$$\sigma_{tk//} = \frac{P_{maks}}{A} \quad (3.4)$$

dengan $\sigma_{tk//}$ = Kuat tekan sejajar serat (MPa),
 P_{maks} = Gaya tekan maksimal bambu (N), dan
 A = *Tebal x lebar* = luas bidang yang tertekan (mm²) dari benda uji.

3.1.5 Kuat Tekan Tegak Lurus Serat

Pengujian kuat tekan tegak lurus serat bambu berdasarkan ISO 3132-1975 (E) dengan ukuran benda uji adalah t x 20 x 60 mm dan dihitung menggunakan Persamaan 3.5.

$$\sigma_{tk\perp} = \frac{P_{maks}}{A} \quad (3.5)$$

dengan $\sigma_{tk\perp}$ = Kuat tekan tegak lurus serat (MPa),
 P_{maks} = Gaya tekan maksimal bambu (N), dan
 A = *Tebal x panjang* = luas bidang yang tertekan (mm²) dari benda uji.

3.1.6 Kuat Geser Sejajar Serat

Pengujian kuat geser sejajar serat bambu berdasarkan ISO/DIS 3347 dengan ukuran benda uji adalah $t \times 20 \times 20$ mm dan dihitung menggunakan Persamaan 3.6.

$$\tau_{//} = \frac{P_{maks}}{A} \quad (3.6)$$

dengan $\tau_{//}$ = Kuat geser sejajar serat (MPa),
 P_{maks} = Gaya geser maksimal bambu (N), dan
 A = *Tebal x panjang* = luas bidang yang tergeser (mm²) dari benda uji.

3.1.7 Kuat Tarik Sejajar Serat

Pengujian kuat tarik sejajar serat bambu berdasarkan prosedur ISO 3346-1975 (E) dengan ukuran benda uji adalah $t \times 20 \times 20$ mm. Ditengah benda uji dibuat irisan lengkung setipis mungkin supaya terjadi kerusakan pengujian di daerah tersebut. Pengujian kuat tarik sejajar serat dan dihitung menggunakan Persamaan 3.7.

$$\sigma_{tr//} = \frac{P_{maks}}{A} \quad (3.7)$$

dengan $\sigma_{tr//}$ = Kuat tarik sejajar serat (MPa),
 P_{maks} = Gaya tarik maksimal bambu (N), dan
 A = *Tebal x lebar* = luas bidang yang tertarik (mm²) dari benda uji.

3.1.8 Modulus of Rapture (MOR)

Pengujian MOR bambu berdasarkan prosedur ISO 3133-1975 (E) dengan ukuran benda uji adalah $t \times 20 \times 280$ mm dan dihitung menggunakan Persamaan 3.8.

$$MOR = \frac{3P_{maks}L}{2bt^2} \quad (3.8)$$

dengan MOR = Modulus lentur bambu (MPa),
 P_{maks} = Beban maksimum (N),
 L = Panjang (mm),
 b = Lebar bambu (mm), dan
 t = Tebal bambu (mm) dari benda uji.

3.1.9 *Modulus of Elasticity (MOE)*

Pengujian MOE bambu berdasarkan prosedur ISO 3349-1975 dengan ukuran benda uji adalah t x 20 x 280 mm dan dihitung menggunakan Persamaan 3.9.

$$MOE = \frac{PL^3}{4bt^3\delta} \quad (3.9)$$

dengan MOE = Modulus elastisitas bambu (MPa),
 P_{maks} = Beban maksimum (N),
 L = Panjang (mm),
 b = Lebar bambu (mm),
 t = Tebal bambu (mm), dan
 δ = Lendutan proporsional dari benda uji.

3.2. **Perekatan Laminasi Bambu**

Salah satu hal yang berperan penting dalam laminasi bambu adalah perekatan, untuk itu banyaknya perekat dalam laminasi harus diperhitungkan dengan cermat. *Glue spread* adalah jumlah perekat yang dilaburkan persatuan luas permukaan bidang rata. Menurut Priyatno (1996) terdapat dua cara pelaburan, cara pertama yaitu MSGGL atau pelaburan satu sisi. Pada cara ini perekat hanya dilaburkan pada satu permukaan saja dari bahan yang direkatkan. Cara yang kedua yaitu MDGL atau pelaburan dua sisi. Pada cara ini perekat dilaburkan pada kedua permukaan bahan yang direkatkan sehingga kedua bahan yang akan direkatkan dilapisi dengan perekat sebelum direkatkan, cara ini memerlukan perekat tambahan sebanyak 20%. Model MDGL ini memiliki kecenderungan peningkatan kekuatan rekatkan. Jumlah perekat terlabur dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.10

$$GPU = \frac{SA}{2048,2} \quad (3.10)$$

dengan GPU = Gram Pick UP (gram),
 S = Perekat yang dilaburkan (gram/MSGGL atau gram/MDGL)
 A = Bidang yang direkatkan (cm²).

3.3 Perancangan Balok Laminasi

Keruntuhan lentur balok murni akan terjadi pada bagian balok yang mengalami momen lentur yang konstan, yaitu pada daerah (L – 2a) dimana gaya geser yang terjadi adalah nol. Tegangan yang terjadi haruslah kurang dari tegangan lentur ijin yang telah dikalikan dengan faktor koreksi tertentu sesuai persamaan 3.11 dan 3.12.

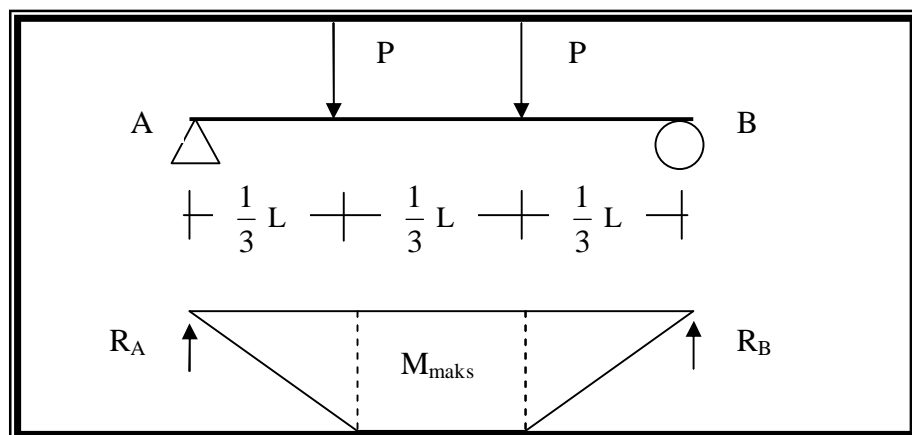
$$f_b < F'_b \quad (3.11)$$

$$F'_b = F_b \cdot C \quad (3.12)$$

dengan:

f_b = Tegangan lentur aktual,
 F'_b = Tegangan lentur ijin yang telah terkoreksi,
 F_b = Tegangan lentur ijin,
 C = Faktor-faktor modifikasi.

Kondisi pembebanan balok uji laminasi dapat dilihat pada Gambar 3.1 dimana pembebanan pada 2 titik dengan bentang $\frac{1}{3} L$.

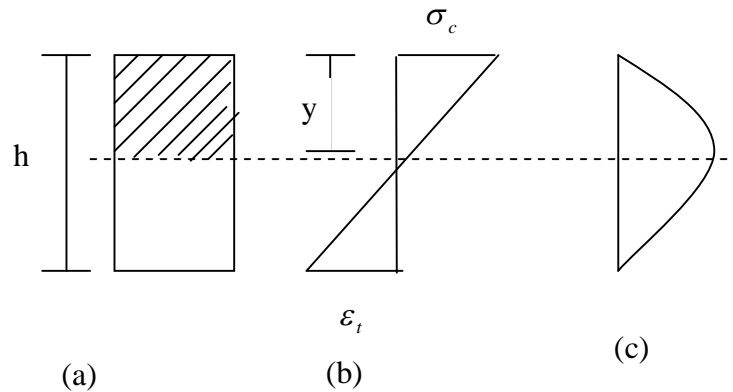


Gambar 3.1 Pembebanan Balok 2 Titik

Berdasarkan kondisi pembebanan pada Gambar 3.1 diperoleh persamaan 3.13 dan 3.14 :

$$R_A = V_A = P \text{ dan } R_B = V_B = P \quad (3.13)$$

$$M_{\text{maks}} = \frac{1}{3} P \cdot L \quad (3.14)$$



Gambar 3.2 (a) Penampang balok
(b) Diagram tegangan-regangan, (c) Distribusi tegangan geser

Hubungan tegangan-regangan seperti pada Gambar 3.2 terhadap perilaku balok yang dibebani beban dengan arah transversal sumbu longitudinal diperoleh persamaan 3.15 :

$$\sigma = \frac{M y}{I} \quad (3.15)$$

dengan σ = tegangan normal akibat lentur (MPa),
 M = momen lentur (N.mm),
 I = inersia penampang (mm^4), dan
 y = jarak antara titik yang ditinjau dengan garis netral penampang (mm).

Persamaan 3.15 dapat dikembangkan untuk menentukan nilai beban maksimum:

$$M = \frac{\sigma \cdot I}{y} \quad (3.16)$$

$$P \cdot \frac{1}{3} L = \frac{\sigma \cdot I}{y} \quad (3.17)$$

$$\frac{L}{3} = \frac{\sigma \cdot I}{P \cdot y} \quad (3.18)$$

$$P = \frac{3\sigma \cdot l}{L \cdot y} \quad (3.19)$$

Tegangan geser yang terjadi pada balok laminasi dihitung dengan Persamaan 3.20.

$$\tau = \frac{VQ}{Ib} \quad (3.20)$$

dengan τ = Tegangan normal akibat lentur (MPa),
 V = Gaya geser (N),
 b = Lebar balok (mm),
 I = Momen inersia (mm⁴),
 $= \frac{1}{12}bh^3$ untuk penampang segi empat, dan
 Q = Momen pertama (statis momen) penampang
 $= b \cdot \left(\frac{1}{2}h\right) \cdot \left(\frac{1}{2}y\right) = b \cdot \left(\frac{1}{2}h\right) \cdot \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \left(\frac{1}{2}h\right) = \frac{1}{8}bh^2$.

Penentuan besarnya gaya geser dan momen lentur dapat dihitung dengan prinsip keseimbangan statik. Perhitungan kesetimbangan statik balok tertumpu sederhana untuk kondisi pembebanan seperti pada Gambar 3.2 diperoleh Persamaan 3.21 dan 3.22 :

$$\tau = \frac{v.Q}{Ib} = \frac{P.Q}{Ib} \quad (3.21)$$

$$P = \frac{\tau.Ib}{Q} \quad (3.22)$$

Dari persamaan 3.19 dan 3.22 diperoleh panjang kritis balok glulam saat terjadi geser dan lentur secara bersamaan. Proses perhitungannya dapat dilihat pada Persamaan 3.23 sampai 3.27.

$$\frac{3 \cdot \sigma \cdot I}{L \cdot y} = \frac{\tau \cdot I \cdot b}{Q} \quad (3.23)$$

$$\frac{3 \cdot \sigma \cdot I}{L \cdot y} = \frac{\tau \cdot I \cdot b}{\frac{1}{8} \cdot b \cdot h} \quad (3.24)$$

$$\frac{3 \cdot \sigma}{L \cdot \frac{1}{2} \cdot h} = \frac{8 \cdot \tau}{h} \quad (3.25)$$

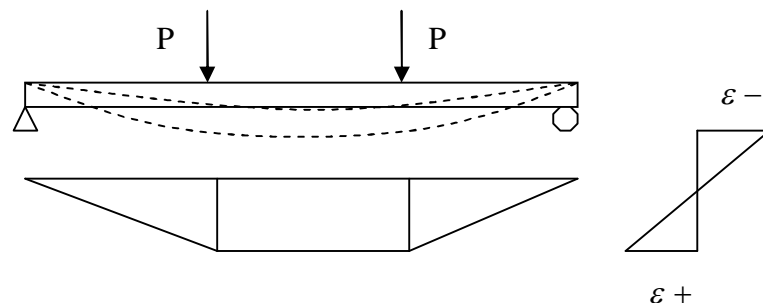
$$\frac{6 \cdot \sigma}{L} = \frac{8 \cdot \tau}{h} \quad (3.26)$$

$$L_{cr} = \frac{6 \cdot \sigma \cdot h}{8 \cdot \tau} \quad (3.27)$$

3.4. Sifat Mekanika Balok Laminasi

3.4.1 Kuat Lentur Balok Laminasi

Balok merupakan suatu batang yang dominan dikenai beban lateral. Akibat beban tersebut maka balok akan mengalami tegangan yang terdistribusi secara linier pada penampang balok tersebut. Balok yang mengalami lentur akibat momen pada Gambar 3.3, maka penampangnya akan berputar satu terhadap yang lainnya sehingga serat bagian atas memendek sedangkan bagian bawah memanjang.



Gambar 3.3. Perilaku Lentur Balok

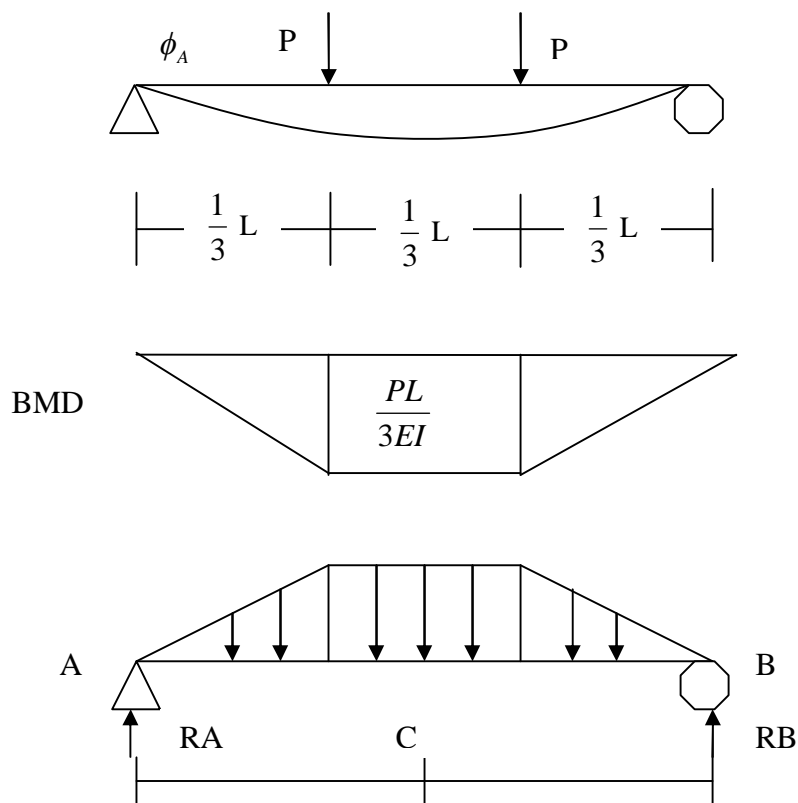
3.4.2 Modulus of rupture (MOR) dan Modulus elastisitas (MOE)

Kekuatan balok sangat dipengaruhi oleh hubungan antara tegangan tekan dan tegangan tarik pada arah sejajar serat. Tegangan lentur maksimum yang terjadi pada balok bambu disebut MOR. Nilai MOR tersebut dipengaruhi oleh kapasitas tarik dan tekan penampang balok, yang diperoleh dengan perhitungan kekuatan lentur balok yang diberi beban terpusat pada sepertiga bentang ditunjukkan pada Persamaan 3.28.

$$MOR = \frac{M \cdot h_1}{I} \quad (3.28)$$

dengan MOR = modulus lentur balok (MPa),
M = momen maksimum balok (N.mm),
 h_1 = jarak sumbu netral keserat terluar bagian atas balok (mm)
I = momen inersia tertransformasi (mm⁴)

Penentuan kekakuan balok laminasi dengan menggunakan nilai MOE yang terjadi pada balok. Nilai modulus elastisitas adalah ukuran ketahanan balok terhadap perpanjangan bila mengalami tarik atau tekan selama proses pembebanan berlangsung dengan kecepatan pembebanan yang konstan. Perhitungan untuk modulus elastisitas bambu untuk pengujian di LAB PAU seperti terlihat pada Gambar 3.4, ditentukan dengan pengujian lentur yang cara perhitungannya menggunakan Persamaan 3.29 sampai 3.32 .



Gambar 3.4. Diagram Momen dan Lendutan

$$R_A = \phi_A = \frac{PL}{3EI} \cdot \frac{L}{3} \cdot \frac{1}{2} + \frac{L}{3} \cdot \frac{1}{2} \frac{PL}{3EI} \quad (3.29)$$

$$= \frac{PL^2}{18EI} + \frac{PL^2}{18EI} = \frac{PL^2}{9EI}$$

$$\delta_{maks} = RA \cdot \frac{L}{2} - \frac{PL^2}{18EI} x \left(\frac{1}{2} x \frac{L}{3} + \frac{1}{3} x \frac{L}{3} \right) - \frac{PL^2}{18EI} x \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} x \frac{L}{3} \right) \quad (3.30)$$

$$\delta = \frac{PL^3}{18EI} - \frac{5PL^3}{324EI} - \frac{PL^3}{216} = \frac{23PL^3}{648EI} \quad (3.31)$$

$$MOE = \frac{23 \cdot P L^3}{648 I \delta} \quad (3.32)$$

dengan MOE = modulus elastisitas balok (MPa),
 P = beban proporsional (N),
 L = panjang balok (mm),
 b = lebar balok (mm),
 h = tinggi balok (mm), dan
 δ = lendutan proporsional yang terjadi (mm) dari balok laminasi

3.4.3. Tipe Keruntuhan Balok Laminasi

Tipe keruntuhan balok laminasi dapat ditentukan menggunakan konsep rasio L/d (Soltis, dkk.,1997). Berdasarkan pada Gambar 3.5 dan Persamaan 3.33, maka dapat diketahui tipe keruntuhan yang terjadi pada balok laminasi. Untuk kuat lentur balok menggunakan Persamaan 3.34 dan kuat geser balok menggunakan Persamaan 3.35.

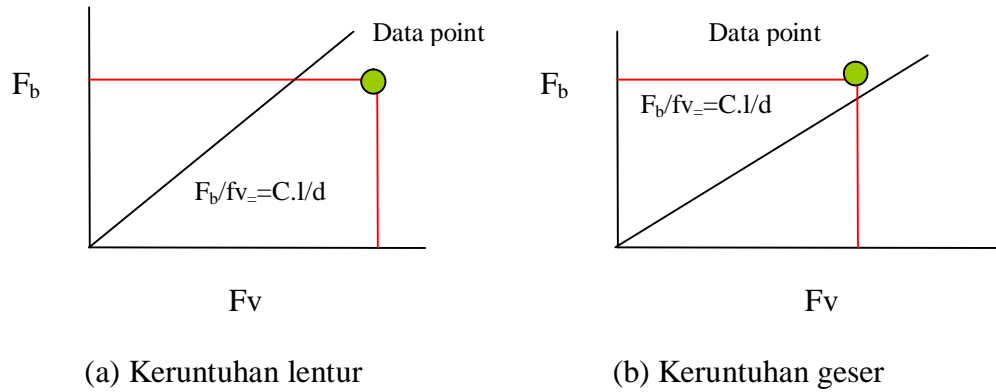
$$\frac{f_b}{f_v} = C \cdot \frac{L}{d} \quad (3.33)$$

$$\text{dengan } f_b = \frac{M \cdot y_a}{I} \text{ (kuat lentur balok)} \quad (3.34)$$

$$f_v = \frac{V \cdot Q_c}{I \cdot b} \text{ (kuat geser balok)} \quad (3.35)$$

Selanjutnya nilai kuat lentur dan kuat geser hasil pengujian atau hasil perhitungan dengan cara analitis diposisikan terhadap garis C. L/d sehingga dapat ditentukan jenis keruntuhan balok yang terjadi. Apabila titik pertemuan antara kuat lentur dan kuat geser berada pada zona lentur maka terjadi keruntuhan lentur dan sebaliknya

bila titik pertemuan antara kuat lentur dan kuat geser berada pada zona geser maka terjadi keruntuhan geser, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Pola Keruntuhan Balok

BAB 4

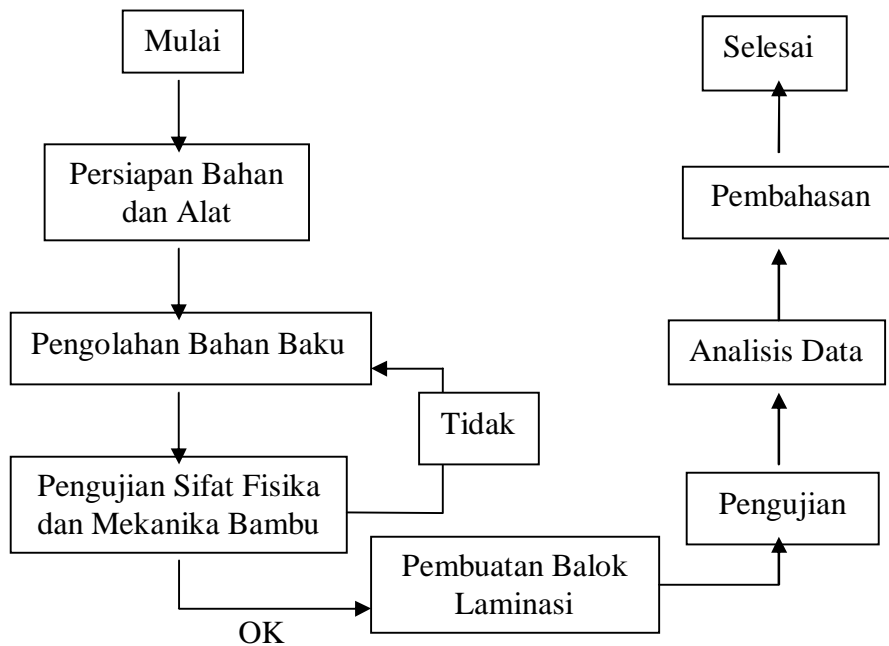
METODE PENELITIAN

4.1. Alur Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode eksperimental, yaitu melakukan kegiatan percobaan di laboratorium untuk mendapatkan data hasil penelitian yang diinginkan.

Kegiatan dalam penelitian ini mulai dari penyiapan, pengolahan dan pembuatan benda uji pendahuluan serta benda uji balok glulam dilakukan di Laboratorium Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada. Namun, pada proses uji pendahuluan dan pengujian kuat lentur balok laminasi bambu, dilakukan di Laboratorium PAU (Pertemuan Antar Mahasiswa), Universitas

Gadjah Mada. Penelitian ini dilakukan mengikuti diagram alir dalam Gambar 4.1. di bawah ini:



Gambar 4.1 Diagram Alir Penelitian

4.2. Alat dan Bahan

4.2.1 Bahan

Bahan yang harus disiapkan selama proses pembuatan balok laminasi bambu terdiri dari beberapa macam. Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Bambu petung

Bambu petung yang digunakan dalam Penelitian ini seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.2 adalah bambu petung yang berasal dari daerah Sleman dalam bentuk bambu utuh sepanjang 3-4 m dari akar. Batangan bambu yang dipakai untuk pembuatan benda uji dipilih dengan diameter dan ketebalan daging yang sama sehingga menghasilkan *layer* (lapisan) bambu yang seragam nantinya. Diameter bambu dari Sleman antara 13-15 cm dengan tebal daging 1,2-1,3 cm.



Gambar 4.2 Visualisasi Bambu Petung

Bambu yang digunakan pada penelitian ini harus dalam keadaan kering atau memiliki kadar air yang rendah. Hal ini dimaksudkan untuk memudahkan bambu dalam proses perekatan. Bambu yang diproses di Laboratorium Teknologi Hasil Hutan Fakultas Kehutanan UGM dilakukan masih dalam bentuk asli. Lebar bilah yang dipakai pada balok laminasi adalah 2,5 cm.

2. Perekat

Bahan perekat yang digunakan adalah *urea formaldehyde* (UF-104) dengan metode pengempaan dingin. Alasan pemakaian perekat jenis ini karena mengacu kepada penelitian terdahulu oleh SetiyaBudi, A (2006) dan kemudahan akan ketersediaan bahan di pasaran. Perekat urea pada umumnya lebih kental sehingga dalam proses pengerjaannya cenderung lebih sukar. Urea relatif lebih awet karena dapat disimpan hingga 5 bulan. Bahan perekat *urea formaldehyde* diperoleh dari PT Pamolite Adhesive Industry (PAI) Probolinggo Jawa Timur.

3. Bahan pengeras

Bahan pengeras yang dipakai baik untuk urea adalah jenis asam NH_4Cl (HU-12) yang juga diperoleh dari PT Pamolite Adhesive Industry (PAI) Probolinggo Jawa Timur. Bahan pengeras tersebut berwujud kristal putih dan sangat berpengaruh terhadap waktu ikatan (*initial time*) dari perekat. Konsentrasi terlarut dalam campuran perekat bila ditambah akan membuat campuran perekat itu cepat mengering. Jumlah bahan pengeras yang terlalu berlebihan juga tidak baik karena

dapat mengakibatkan campuran perekat menjadi getas. Bahan pengeras pada umumnya menggunakan takaran berat sehingga diperoleh jumlah yang tepat dan pasti. Bahan pengeras diberikan pada akhir proses pencampuran, lantas segera diaduk sehingga dapat tersebar merata.

4. Bahan pengembang

Tepung terigu dengan merk Gunung Bromo digunakan sebagai bahan pengisi dalam proses perekatan laminasi. Tepung merk ini dapat diperoleh secara komersial, namun karena kualitas dan kehalusan dari tepung inilah yang memudahkan dalam proses pencampuran. Jumlah bahan pengisi disesuaikan dengan spesifikasi masing-masing perekat.

Untuk lebih jelasnya mengenai hal-hal yang berkaitan dengan bahan perekat dan peralatan pendukungnya dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan 4.4.



Gambar 4.3 Perekat *urea formaldehide*



Gambar 4.4 Peralatan Pendukung Proses Perekatan

4.2.2 Peralatan

Peralatan penelitian yang digunakan meliputi peralatan pembuatan benda uji, peralatan uji fisik dan mekanik bambu serta peralatan uji lentur balok seperti halnya disebutkan sebagai berikut:

1. Peralatan untuk pengolahan dan penyiapan benda uji, terdiri dari:

a. Mesin gergaji (*Circular Panel Saw*)

Mesin gergaji pada umumnya digunakan untuk memotong kayu ataupun bambu arah memanjang. Mesin ini lebih banyak digunakan khususnya pada saat pembuatan balok galar dimana balok dipotong arah memanjang menggunakan mesin tersebut, seperti tampak pada Gambar 4.5 yaitu bentuk mesin gergaji tipe SCM-S1 16 W.



Gambar 4.5 Mesin Gergaji (*Circular Panel Saw*)

b. Mesin serut (*Planner*)

Mesin serut digunakan untuk meratakan bidang, baik itu digunakan pada bilah maupun galar. Ketebalan bilah ataupun galar yang relatif seragam diperoleh dengan menggunakan mesin ini. Mesin serut juga digunakan untuk mendapatkan dimensi lapis bilah dan balok yang sama pada tiap-tiap balok laminasi. Gambaran mesin serut dengan tipe SCM S52 dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Mesin Serut (*Planner*)

c. Mesin siku (*Jointer*)

Mesin ini khususnya digunakan untuk menghilangkan buku (ruas) pada lapisan galar. Mesin siku dapat juga digunakan untuk mendapatkan bidang siku dan relatif datar, baik pada lapisan laminasi bilah ataupun balok sebelum dimasukkan ke dalam mesin serut. Gambar 4.7 memperlihatkan tampilan mesin siku dengan tipe SCM F4L.



Gambar 4.7 Mesin Siku (*Jointer*)

d. Mesin gergaji bilah

Gergaji bilah digunakan untuk mendapatkan bilah dengan lebar yang sama arah memanjang. Gergaji ini digunakan karena pembuatan bilah secara manual tidak menghasilkan lebar bilah yang seragam. Pembuatan balok secara manual umumnya mengikuti arah serat memanjang, batang bambu yang tidak lurus menyebabkan lebar bilah menjadi tidak sama antara bagian ujung dan pangkal. Mesin gergaji bilah dapat menghasilkan lebar bilah yang relatif sama sehingga tidak banyak bagian yang terbuang untuk mengejar lebar bilah yang diinginkan. Mesin gergaji bilah merk *Bosch* GKS 190 yang menggunakan keping gergaji bilah diameter 7¼” dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Mesin Gergaji Bilah

e. Alat kempa hidrolik

Alat kempa hidrolik merk *Carver Laboratory Press* seperti terlihat pada Gambar 4.9, digunakan untuk memberikan tekanan tegak lurus pada balok agar diperoleh kuat kempa antar lapisan galar ataupun bilah. Konversi besaran perlu diperhatikan dengan mempertimbangkan gaya tekan dan luasan tekan.



Gambar 4.9 Alat Kempa Hidrolik

f. Alat-alat pertukangan yang dipergunakan adalah meteran, siku-siku besi, gergaji, palu dan bendo.

g. Perlengkapan pengempaan balok laminasi

1) Klem besi profil C dengan tinggi 22 cm, lebar 11 cm dan tebal 5 mm, digunakan untuk pembuatan cetakan kempa lapisan bilah dan balok seperti terlihat pada Gambar 4.10. Cetakan kempa balok laminasi bilah sepanjang 2,3 m sedikitnya membutuhkan 7 pasang klem besi profil C (jarak antar klem berkisar 30 cm).



Gambar 4.10 Klem Besi Profil C

2) Mur, ring dan baut dengan panjang baut 25 cm dan diameter 0,9 cm. Mur dan baut digunakan pada cetakan balok laminasi bilah maupun cetakan galar, seperti halnya tampak pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Baut Cetakan Kempa

3) Cetakan Lebar Bilah

Cetakan lebar bilah dipakai untuk meratakan lebar bilah sesuai dengan lebar yang diinginkan. Cetakan tersebut dibuat dengan menggunakan papan-papan kayu yang dirangkai agar diperoleh bidang jepit bilah pada bagian atas, selanjutnya dapat dilihat pada Gambar 4.12. Baut dan mur digunakan untuk mendapatkan tekanan samping pada cetakan.



Gambar 4.12 Cetakan Lebar Bilah

4) Cetakan Kempa Balok

Cetakan kempa tersebut dibuat dengan menggunakan klem-klem besi profil C, yang selanjutnya pada profil-profil besi tersebut tekanan kempa diberikan. Cetakan ini memiliki dua pengekan yang menjaga agar lapisan laminasi tidak bergeser, yaitu pengekan arah horisontal (menggunakan alas penjepit berupa papan kayu) dan pengekan arah vertikal (menggunakan alas penjepit berupa profil C), seperti dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Tampilan Cetakan Kempa Bilah

2. Peralatan pengujian sifat fisik dan mekanik bambu terdiri dari:

a. Alat *Moisturemeter*

Alat ini digunakan untuk menentukan besarnya kadar air bambu secara otomatis dan cepat, dengan tingkat keakuratan yang relatif baik. Paku ganda pada ujung alat yang berfungsi sebagai anoda dan katoda dipukul pada bagian pangkal alat hingga paku tersebut masuk ke dalam lapisan bambu, lantas alat dinyalakan untuk mengetahui besarnya kadar air. Kadar air yang tampak pada layar umumnya berubah-ubah, untuk itu ditunggu beberapa saat hingga tercapai angka yang konstan, tampilan alat *moisturemeter* diperlihatkan pada Gambar 4.14.



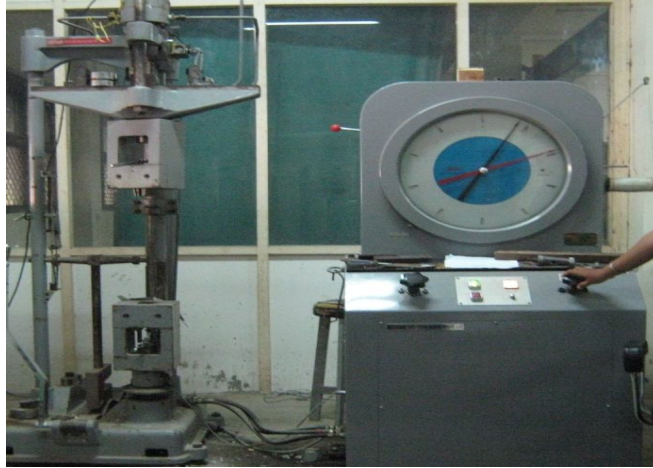
Gambar 4.14 Alat *Moisturemeter*

- b. Oven untuk mengeringkan spesimen.
- c. Timbangan meja untuk menimbang berat spesimen pada pengujian kadar air. Alat bermerk Ohaus GT-2100 dengan ketelitian 0,001 gram.
- d. Kaliper merk *Schlieper* untuk mengukur dimensi spesimen seperti terlihat pada Gambar 4.15. Alat ini digunakan untuk mengukur dimensi bilah , agar ukuran tiap bilah seragam atau sama. Selain itu digunakan juga dalam pengukuran dimensi balok apakah sudah sesuai ukuran yang diharapkan atau belum.



Gambar 4.15 Kaliper *Schlieper*

- e. Alat *Universal Testing Machine* (UTM), dipakai untuk pengujian sifat mekanik bambu seperti kuat tekan, kuat tarik, kuat geser hingga kuat lentur dan lain-lain seperti tampak pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 *Universal Testing Machine (UTM)*

- f. Alat untuk pengujian lentur balok laminasi yang meliputi alat loading frame dan laod controller serta dilengkapi juga dengan seperangkat LVDT (*Linear Variable Differintial Transformer*) dan *data logger* untuk mengukur lendutan yang terjadi secara cepat. Untuk memperjelas alat ini diperlihatkan pada Gambar 4.17 berikut.



Gambar 4.17 Alat Uji Lentur

4.3. Benda Uji

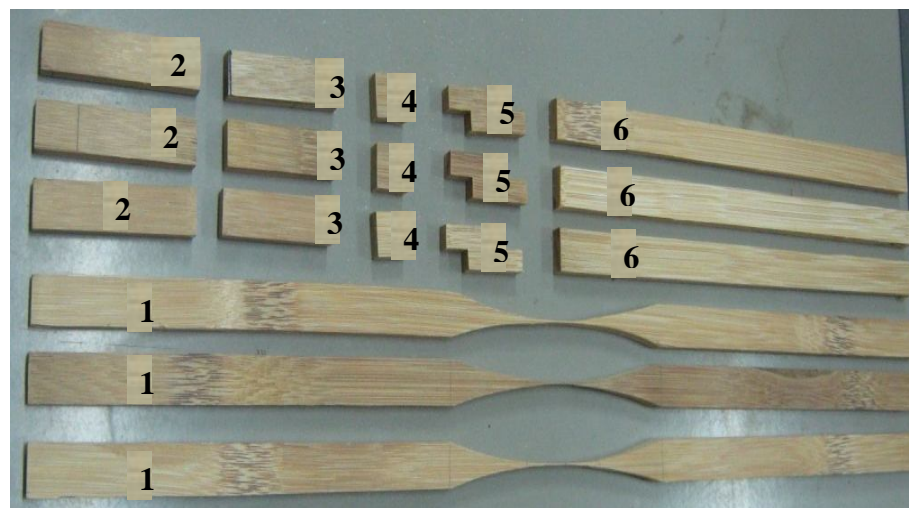
4.3.1. Benda uji pendahuluan

Benda uji pendahuluan untuk mengetahui sifat fisika dan mekanika bahan dibuat berdasarkan ISO 3129-1975. Benda uji pendahuluan meliputi kerapatan, kadar air, kuat tekan sejajar serat dan kuat tekan tegak lurus serat, kuat tarik sejajar serat, kuat geser sejajar serat, kuat lentur (MOR) dan modulus elastisitas (MOE).

Jumlah benda uji untuk pengujian pendahuluan bambu petung disajikan dalam Tabel 4.1 dan masing-masing benda uji pendahuluan bahan dibuat dalam jumlah seperti yang terlampir dalam Gambar 4.18.

Tabel 4.1. Jenis pengujian dan jumlah benda uji pendahuluan

No	Jenis pengujian	Jumlah
1	Kuat tekan \perp serat	3
2	Kuat tekan // serat	3
3	Kuat geser	3
4	Kuat lentur	3
5	Kuat tarik	3
6	Kadar air dan kerapatan	3
Jumlah		18



Gambar 4.18 Benda uji Pendahuluan

Keterangan :

1. Benda uji kuat tarik
2. Benda uji kuat tekan tegak lurus serat
3. Benda uji kuat tekan sejajar serat
4. Benda uji kadar air dan kerapatan
5. Benda uji kuat geser
6. Benda uji kuat lentur

4.3.2 Benda Uji Balok Glulam (*Glue Laminated*)

Data pendukung berupa sifat mekanik bambu diperlukan untuk menentukan dimensi benda uji. Hasil pengujian sifat mekanika bambu petung dapat dilihat pada Tabel 4.2. Contoh hitungan uji sifat mekanika dapat dilihat pada lampiran D1 sampai D5.

Tabel 4.2. Hasil pengujian sifat mekanika bambu petung

No	Sifat Mekanik	Nilai Rata-Rata
1	Kuat lentur, σ (kulit di atas)	184.17 MPa
2	Kuat lentur, σ (kulit di bawah)	143.24 MPa
3	Kuat geser, τ	10,27 MPa
4	Kuat tekan, //	54.90 MPa
5	Kuat tekan, \perp	19.89 MPa
6	Kuat tarik	166.59 MPa
7	Elastisitas, MOE	16,471.71 MPa

Berdasarkan persamaan 3.27. dan data di atas, maka panjang benda uji minimal dapat ditentukan agar tercapai keruntuhan lentur dengan perhitungan sebagai berikut :

a. Kulit Di Atas

$$L_{cr} = \frac{6 \cdot \sigma \cdot h}{8 \cdot \tau} = \frac{6 \times 184,1798 \times 70}{8 \times 10,2723} = 941,312 \text{ mm} = 94,1312 \text{ cm}$$

$$= 94,1312 \text{ cm} < 210 \text{ cm (panjang balok rencana)}$$

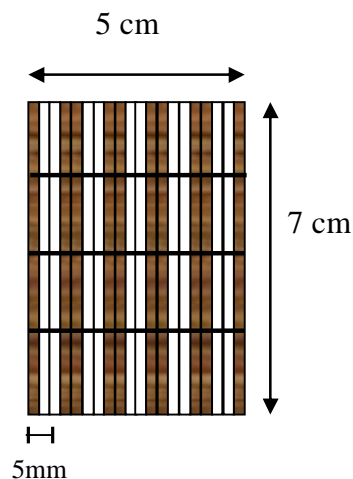
b. Kulit Di Bawah

$$L_{cr} = \frac{6 \cdot \sigma \cdot h}{8 \cdot \tau} = \frac{6 \times 143,2424 \times 70}{8 \times 10,2723} = 732,0879 \text{ mm} = 73,2088 \text{ cm}$$

$$= 73,2088 \text{ cm} < 210 \text{ cm (panjang balok rencana)}$$

Untuk perhitungan panjang kritis balok laminasi selengkanya dapat dilihat pada lampiran F-1. Dengan demikian benda uji yang digunakan memiliki dimensi lebar 5 cm dan tinggi 7 cm, dipilih panjang 210 cm untuk memastikan gagal lentur. Gagal lentur pada umumnya terlihat dari patahnya balok pada bagian kritis (biasanya tengah bentang) karena ketidakmampuan balok menerima sejumlah besaran beban yang diaplikasikan.

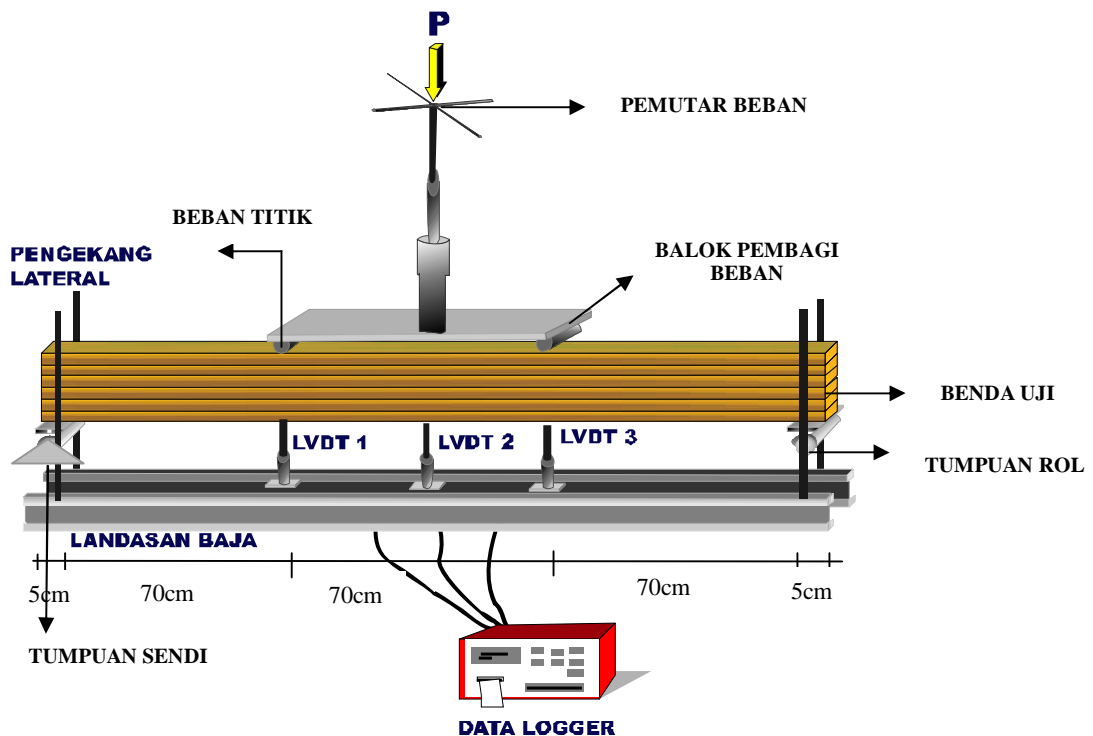
Ukuran dimensi bilah bambu yang dipakai menyesuaikan kondisi bambu yang diperoleh. Penelitian ini, meneliti model susunan bilah bambu penyusun balok glulam seperti yang dilihat dalam Gambar 4.19 Susunan bilah model ini dimaksudkan karena bambu mempunyai kuat tarik paling tinggi ada pada sisi luar/kulit, dan bilah disusun secara vertikal terhadap sisi lebar balok dengan bidang sisi rekatan antar bilah, yaitu sisi daging dengan daging dan sisi kulit dengan kulit.



Gambar 4.19 Sketsa Gambar Laminasi Glulam Bambu yang akan Diuji

4.4 Setting Up Pengujian

Pembebanan yang dilakukan adalah pembebanan statik dengan penambahan beban (*increment*) hingga mencapai keruntuhan. Pembebanan diberikan tiap 50 kg hingga tercapai beban maksimum yang dapat ditahan. Gambaran *setting up* pengujian lentur dan geser yang dilakukan terhadap balok laminasi tampak pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 *Setting Up* Pengujian

Untuk mengukur besar lendutan balok digunakan alat ukur *LVDT*. *LVDT* yang digunakan berjumlah 3 buah dengan penempatan satu *LVDT* ditempatkan pada posisi tengah bentang balok dan dua *LVDT* masing-masing ditempatkan pada posisi ujung-ujung di $\frac{1}{3}$ bentang balok.

4.5 Tahap-Tahap Penelitian

Metode utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen di laboratorium. Semua kegiatan mulai dari penyiapan, pengolahan dan pembuatan benda uji pendahuluan dan benda uji balok glulam dilakukan di Laboratorium

Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada. Kecuali pada proses uji pendahuluan dan pengujian kuat lentur balok laminasi bambu dilakukan di Laboratorium PAU (Pertemuan Antar Mahasiswa), Universitas Gadjah Mada.

Uraian lebih lengkap tentang pelaksanaan penelitian dari awal hingga akhir dijabarkan dalam uraian di bawah ini:

4.5.1. Pengadaan Bahan Baku

Bahan baku utama adalah bambu petung yang didatangkan dari daerah Sleman, Kabupaten Magelang. Penelitian ini selain menitikberatkan pada pengujian dan pengukuran kekuatan lentur dari balok laminasi, juga berorientasi pada proses pengerjaan pembuatan balok laminasi dari awal hingga *finishing*. Penelitian tersebut dilakukan untuk mendapatkan parameter-parameter pengerjaan laminasi bambu seperti lama waktu pengerjaan, biaya pengerjaan hingga tingkat kesulitan dari pengerjaan satu satuan balok. Pengadaan bahan baku meliputi proses pengupasan kulit bambu, pembuatan bilah dan galar hingga penjemuran. Proses pelaksanaan pengadaan bahan baku adalah sebagai berikut:

a. Proses Pembuatan Bilah

Proses pembuatan bilah dapat dilakukan dengan menggunakan parang atau mesin gergaji bilah (*Circular Panel Saw*). Tapi pada penggunaan parang dirasa kurang efektif karena batang bambu yang tidak sepenuhnya lurus menyebabkan parang mengikuti arah serat bambu dan hal ini dapat menyebabkan lebar bilah menjadi tidak sama. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka proses pembuatan bilah dilakukan dengan menggunakan gergaji bilah untuk membelah bambu menjadi dua dan *circular panel saw* yang digunakan untuk membuat bilah sesuai ukuran yang diinginkan, selain dapat menghasilkan lebar bilah yang sama dari pangkal hingga ke ujung juga prosesnya cepat

Spidol atau pensil digunakan untuk memberi tanda pada bagian ujung selebar bilah. Lebar bilah yang direncanakan ditambah ± 1 cm untuk mengantisipasi lebar bambu yang tidak simetris. Misalnya digunakan lebar bilah 3 cm agar didapat lebar ilah 2 cm. Tanda lebar bilah diberikan khusus pada bagian bambu yang bengkok karena hasil pembilahan yang melebihi lebar yang dituju dapat disesuaikan pada saat proses penyerutan (*Planner*).

Karena proses penggergajian sering menghasilkan debu yang sangat banyak maka operator disarankan menggunakan masker. Setelah proses penggergajian selesai, dilanjutkan proses pelepasan bilah dari bagian buku yang masih menempel. Pekerjaan pelepasan bilah ini juga menggunakan mesin gergaji bilah (*Circular Panel Saw*). Gambar 4.21 hingga 4.23 menunjukkan tampilan dari langkah-langkah pembilahan.



Gambar 4.21. Bambu yang Baru Dibelah.



Gambar 4.22. Pemotongan Bilah Bambu (*Circular Panel Saw*).



Gambar 4.23. Proses Penghilangan Buku pada Bilah

c. Proses Pengawetan dan Penjemuran Bilah.

Bambu yang sudah dipotong menjadi bilah-bilah kemudian diawetkan dengan cara direbus dalam alat semacam tong dengan bahan perebus adalah air dan borak. Dimana komposisi air dan borak adalah 95% air dan 5% borak. Setelah mendidih (100°C) sampai 3 jam kemudian api dimatikan. Bambu didiamkan sampai keesokan harinya, baru diambil dan dijemur ± 2 minggu (tergantung cuaca) atau sampai kadar air bambu sekitar 8% -12% jika kadar air masih lebih dari 12% maka bilah masih harus dijemur.

Dalam proses penjemuran bilah tidak boleh ditumpuk, karena penumpukan lapisan bilah dapat menyebabkan panas hidrasi yang ada selama proses penjemuran cenderung terperangkap. Bilah bambu dijemur dengan cara disandarkan terpisah satu sama lain. Tempat perebusan bilah dan proses penjemuran bilah dapat dilihat pada gambar 4.24 dan gambar 4.25.



Gambar 4.24. Tempat Perebusan Bilah



Gambar 4.25. Proses Penjemuran Bilah.

d. Pekerjaan Penyerutan (*Planner*)

Proses penyerutan dilakukan untuk mendapatkan ketebalan bilah yang diinginkan. Untuk penelitian ini direncanakan ketebalan bilah 0,5 cm dan lebar bilah 2,5 cm. Di mana untuk mendapatkan ketebalan tersebut penyerutan dilakukan berkali-kali. Gambar 4.26 memperlihatkan proses penyerutan.



Gambar 4.26. Proses Penyerutan Bilah



Gambar 4.27. Bilah setelah Proses Penyerutan

4.5.2 Proses Perekatan

a. Penyiapan dan pencampuran bahan perekat

Berat bahan perekat, bahan pengisi dan bahan pengeras dihitung terlebih dahulu dengan menyesuaikan luas bidang rekat. Cara perhitungan dan spesifikasi perekat dapat dilihat pada Lampiran B1-B2. Setelah itu dimasukkan kedalam gelas takaran kemudian diaduk hingga tercampur. Selama penelitian, tepung terlebih dahulu dimasukkan ke dalam gelas pengaduk (gelas takaran) lantas sekitar seperempat bagian larutan perekat dituangkan perlahan sambil diaduk hingga merata. Seperempat bagian larutan perekat ditambahkan sambil terus diaduk hingga proses pengadukan makin berat. Selanjutnya apabila telah didapat campuran yang merata, masukkan seperempat bagian yang terakhir dan aduk hingga benar-benar tercampur. Proses pencampuran perekat dapat dilihat pada gambar 4.28.



Gambar 4.28 Proses Pencampuran Perekat

b. Proses Perekatan (Pelaburan) Balok Laminasi Bilah

Bilah yang telah dipersiapkan yaitu sejumlah 10 bilah dengan ketebalan 0,5 cm dihamparkan merapat di atas karpet plastik. Debu bambu yang menempel pada bilah dibersihkan dengan menggunakan sikat. Setengah bagian dari campuran perekat dituangkan secara merata di atas hamparan bilah tersebut. Campuran perekat tersebut diratakan sepanjang bilah dengan menggunakan kuas, oleskan kuas sepanjang mungkin dan lantas kembali. Kuas yang dioleskan pendek-pendek hanya akan mengakibatkan campuran perekat terkonsentrasi pada satu bagian bilah saja. Bilah segera dibalik setelah campuran perekat merata sepanjang bilah, untuk bagian terluar bilah tidak perlu dibalik karena nantinya

akan menjadi bagian tepi dari lapisan bilah (sisi kulit bambu). Proses penuangan campuran perekat dan perataan dilakukan kembali dengan menggunakan kuas.

Pada penelitian ini bagian luar bambu direkatkan dengan bagian luar bambu dan pada bagian sisi dalam bambu direkatkan dengan bagian dalam bambu demikian seterusnya, lantas dimasukkan ke dalam cetakan kempa bilah yang telah dipersiapkan terlebih dahulu. Tiap satu cetakan kempa bilah dapat menampung 4 lapisan sekaligus.

Proses pengerjaan dengan menggunakan cetakan kempa bilah ini diusahakan secepat mungkin, mengingat waktu ikat perekat (*initial time*) yang hanya berkisar dalam hitungan jam saja. Satu cetakan kempa biasanya memakan waktu 1,5 jam dari proses awal hingga selesai dikempa bila dikerjakan sedikitnya 4 orang. Cetakan kempa bilah dibiarkan sehari semalam untuk dibuka keesokan harinya. Untuk lebih jelasnya mengenai rangkaian proses perekatan balok laminasi bilah dapat dilihat pada Gambar 4.29 dan Gambar 4.30.



Gambar 4.29 Proses Pelaburan Perekat pada Bilah



Gambar 4.30 Pengencangan Baut pada Cetakan Kempa Bilah

4. Pekerjaan Pembukaan Cetakan

Cetakan dibuka setelah didiamkan selama sehari semalam. Identitas (kode) balok uji hendaknya ditulis dengan jelas pada lapisan laminasi tersebut agar nantinya tidak tertukar ataupun keliru. Perekat yang mengeras umumnya membentuk sudut-sudut yang lancip dan tajam sehingga dianjurkan untuk selalu menggunakan kaus tangan.

5. Pekerjaan *Finishing* Lapis Laminasi Bilah

Pekerjaan *finishing* biasanya dilakukan setelah 3 hari terhitung dari pembukaan cetakan kempa bilah. Lama waktu sekitar 3 hari ini dibutuhkan dalam rangka menjamin daya rekat antar bilah pada lapisan lamina. Beberapa jenis kegiatan yang berkenaan dengan pekerjaan *finishing* lapis laminasi bilah antara lain:

a. Pekerjaan Perataan Permukaan Lapisan Bilah

Pekerjaan perataan permukaan lapisan bilah dilakukan dengan menggunakan mesin pembuat siku (*jointer*), lapisan bilah dengan panjang 2,3 m dilewatkan pada bagian atas pisau mesin pembuat siku. Lapisan bilah tersebut ditekan agar diperoleh bidang datar pada bagian yang terkena mata pisau. Tampak pada Gambar 4.31 bahwa mata pisau yang tajam dan mengarah ke atas sehingga pada saat penekanan lapisan bilah ini dibutuhkan kehati-hatian dan konsentrasi.



Gambar 4.31 Pekerjaan Perataan Permukaan Lapisan Bilah

b. Pekerjaan Penyerutan Lapisan Laminasi Bilah

Pekerjaan perataan permukaan lapisan bilah dilakukan agar diperoleh bidang datar. Proses penyerutan dilakukan berulang pada kedua bidang permukaan lapisan bilah hingga diperoleh ketebalan yang dituju. Pada penelitian ini lebar lapisan bilah yang dituju sebesar 2,5 cm.

6. Pekerjaan Perekatan dan Pengempaan Balok Laminasi Bilah

Prosedur pekerjaan perekatan dan pengempaan balok laminasi bilah hampir menyerupai dengan pekerjaan perekatan sebelumnya, yang membedakan adalah penggunaan *scrub/fillet*. Kuas tidak lagi dipakai karena permukaan yang direkatkan cukup rata setelah diserut sebelumnya. Cetakan kempa yang digunakan tidak lagi menggunakan penyangga samping hanya pada bagian yang dikempa sebagai perata tekanan kempa. Rangkaian kegiatan pekerjaan perekatan dan pengempaan lapis laminasi bilah dapat dilihat pada Gambar 4.32 hingga Gambar 4.36.



Gambar 4.32 Penuangan Perekat pada Lapisan Bilah



Gambar 4.33 Perataan Perekat dengan *Scrub*



Gambar 4.34 Cetakan Kempa Lapisan Bilah



Gambar 4.35 Proses Pengempaan Laminasi Bilah



Gambar 4.36 Pengencangan Baut pada Cetakan Kempa Bilah

7. Pekerjaan *Finishing* Balok

Pekerjaan *finishing* merupakan proses terakhir dari rangkaian proses penyiapan benda uji. Pekerjaan ini biasanya dilakukan sehari setelah balok dikeluarkan dari cetakan kempunya. Balok laminasi dengan lebar 5 cm dan tinggi 7 cm. Balok laminasi pada penelitian ini mengacu pada posisi arah vertikal. Pekerjaan *finishing* tidak ubahnya berupa kegiatan penyerutan balok untuk memenuhi dimensi yang dikehendaki yaitu 5 x 7 cm dengan menggunakan mesin serut. Gambaran proses penyerutan balok dan hasil pekerjaan *finishing* dapat dilihat pada Gambar 4.37 dan 4.38.



Gambar 4.37 Proses Penyerutan Balok



Gambar 4.38 Hasil Penyerutan Balok Bilah

8. Pengujian Lentur

Pengujian lentur dilakukan di Laboratorium PAU (Pertemuan Antar Mahasiswa) Universitas Gadjah Mada. Panjang benda uji lentur digunakan 210 cm.

Seperti tampak pada Gambar 4.38, balok yang semula panjangnya 2,3 m dipotong hingga mencapai 220 cm dengan pertimbangan 10 cm dipakai sebagai tumpuan, masing-masing 5 cm pada sisi kanan kiri balok. Beban diaplikasikan pada tengah bentang dengan *four points load* dengan jarak beban yaitu 70 cm. Dua *dial* untuk menunjukkan lendutan yang terjadi diletakkan 70 cm dari tiap-tiap ujung, sedangkan dua *dial* lainnya diletakkan di atas plat beban yang dipasang tegak lurus arah memanjang balok.

Seperangkat *dial* LVDT tersebut dihubungkan dengan *data logger* sehingga langsung dapat diketahui besarnya lendutan pada *increment* beban 50 kg. Pengekang lateral dipasang di dekat tumpuan untuk mencegah terjadinya puntir (torsion). Patah lentur ditandai dengan rusaknya (putus) serat pada bagian tengah bentang atau tepat di bawah beban. Gambar benda uji balok laminasi pengujian lentur, perletakan beban dan kondisi patah lentur tersebut lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.39 sampai Gambar 4.41.



Gambar 4.39 Benda Uji Balok Laminasi Pengujian Lentur



Gambar 4.40 Aplikasi Beban Pengujian Lentur



Gambar 4.41 Kondisi Patah Akibat Lentur

4.6 Kesulitan-Kesulitan selama Penelitian

Selama melakukan penelitian terdapat beberapa kesulitan baik ditinjau dari segi teknis maupun non teknis. Beberapa kesulitan tersebut antara lain seperti disebutkan di bawah ini:

1. Penentuan tebal bilah menjadi sangat terbatas mengingat ketebalan bambu yang relatif tipis, makin lebar bilah yang dituju maka makin tipis ketebalan bilah yang diperoleh demikian sebaliknya.
2. Cuaca yang tidak menentu merupakan kendala utama dalam proses penjemuran,
3. Proses pengerjaan menjadi terhambat akibat dari terbatasnya klem dan baut pada cetakan kempa bilah ataupun kempa.

4. Proses perekatan yang masih dilakukan secara konvensional yaitu dengan menggunakan kuas sehingga pekerjaan perekatan harus dilakukan dengan tenaga yang cukup agar perekat tidak cepat mengering sebelum dikempa.
5. Ketidakakuratan pembacaan dan alat pada saat pengujian balok yang dilakukan di LAB PAU menyebabkan data hasil pengujian tidak akurat .

BAB 5

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1. Sifat Fisika dan Mekanika Bambu Petung

5.1.1 Kadar air

Berdasarkan hasil uji pendahuluan yang telah dilakukan diperoleh nilai kadar air yang terkandung pada bambu petung. Hasil yang diperoleh bambu petung dari Sleman dinyatakan dalam persen yaitu berkisar antara 6,9 % hingga 14,29 % dengan kadar air rata-rata 9,4433 %. Kadar air benda uji telah mencapai kondisi kadar air yang disyaratkan dalam perencanaan yaitu kadar air kering udara. SNI 3 (BSN, 2002) mendefinisikan kayu kering udara sebagai kayu dengan kadar air maksimal 20% sedangkan PKKI N-5 1961 (DPMB, 1992) menyebutkan bahwa kadar air kayu kering udara tergantung pada keadaan iklim setempat. Di Indonesia kadar air ini berkisar antara 12% sampai 20% dari kayu kering mutlak. Ketentuan mengenai kadar air yang dikandung oleh kayu yang direkatkan juga disyaratkan oleh PT Palmolite Adhesive Industry (PAI) dalam spesifikasinya yaitu berkisar 6% hingga 12%. Selengkapnya nilai kadar air yang diperoleh untuk tiap-tiap benda uji dapat dilihat pada Tabel 5.1

Tabel 5.1 Nilai Kadar Air Bambu Petung dari Sleman

Kode Benda Uji	Ukuran Penampang			Volume (mm ³)	Berat		Kadar air %
	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Panjang (mm)		Awal (gr)	Akhir (gr)	

1	19,9	9,5	20,8	3932,24	3,2	2,8	14,29
2	19,4	9,4	20,75	3783,97	3,0	2,8	7,14
3	19,5	9,3	21,2	3844,62	3,1	2,9	6,9
Rata-rata							9,44

Berdasarkan nilai kadar air rata-rata yang diperoleh menunjukkan bahwa bahan bambu petung yang berasal dari Sleman dapat digunakan sebagai bahan baku untuk membuat balok uji. Pengukuran nilai kadar air juga dilakukan terhadap balok uji dengan menggunakan *moisturemeter* yang memiliki tingkat ketelitian yang cukup baik.

5.1.2 Kerapatan

Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan Persamaan 3.2, maka dapat diketahui besarnya nilai kerapatan dari benda uji bambu petung dari Sleman pada kadar air rata-rata 9,4433 % yaitu berkisar antara 0,71206 gr/cm³ hingga 0,74892 gr/cm³ dengan nilai kerapatan rata-rata sebesar 0,73366 gr/cm³. Prayitno (1996) menyebutkan bahwa untuk kerapatan kayu kurang dari 0,4 g/cm³ termasuk kayu ringan, kerapatan kayu kurang dari 0,55 gr/cm³ termasuk kayu sedang dan kerapatan kurang dari 0,72 gr/cm³ termasuk kayu berat. Nilai kerapatan yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Nilai Kerapatan Bambu Petung dari Sleman

Kode Benda Uji	Ukuran Penampang			Volume (mm ³)	Berat		Kerapatan gr/cm ³
	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Panjang (mm)		Awal (gr)	Akhir (gr)	
1	19,9	9,5	20,8	3932,24	3,2	2,8	0,81
2	19,4	9,4	20,75	3783,97	3,0	2,8	0,79
3	19,5	9,3	21,2	3844,62	3,1	2,9	0,80
Rata-rata							0,80

5.1.3 Sifat mekanika

Berdasarkan pengujian mekanika terhadap kuat tekan sejajar serat, kuat tekan tegak lurus serat, kuat tarik sejajar serat, geser sejajar serat, modulus lentur (MOR), dan modulus elastisitas (MOE) diperoleh hasil berturut-turut untuk bambu petung dari Sleman sebesar 62,530 MPa; 14,524 MPa; 203,374 MPa; 9,188 MPa; 162,343 Mpa; 13589,45 MPa. Hasil uji mekanika untuk masing-masing benda uji diperlihatkan pada Tabel 5.3 dan Tabel 5.4, dan selengkapnya ditunjukkan pada Lampiran D-1 sampai D-5.

Tabel 5.3 Hasil pengujian sifat mekanika bambu petung dari Sleman

Kode Benda Uji	Sifat Mekanika			
	Tekan // serat (MPa)	Tekan \perp serat (MPa)	Tarik // serat (MPa)	Geser // serat (MPa)
1	51,00	30,07	216,85	35,98
2	53,92	14,98	148,69	9,55
3	59,79	14,62	134,24	9,53
Rata-rata	54,90	19,89	203,37	18,35

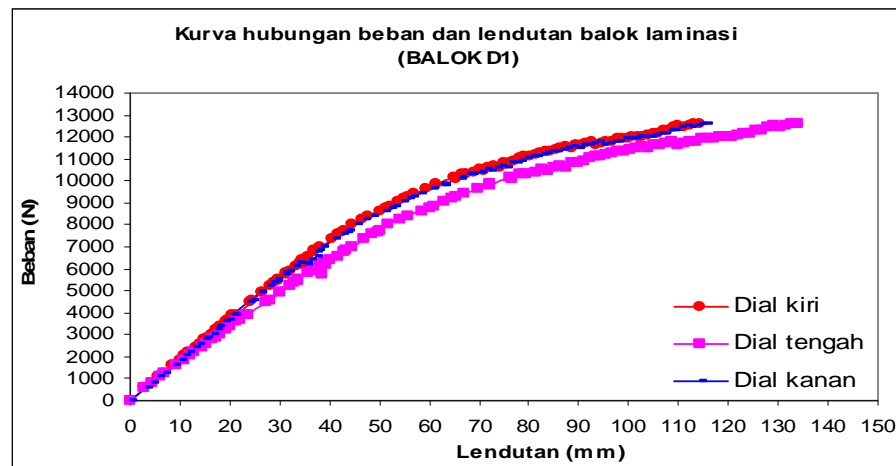
Tabel 5.4 Hasil pengujian MOR & MOE bambu petung dari Sleman

Kode Benda Uji	Kulit Di Atas		Kulit Di Bawah	
	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
1	195,65	22362,80	149,22	24073,72
2	172,51	15218,81	141,98	23205,34
3	184,36	12862,02	138,51	19511,05
Rata-Rata	184,17	16814,54	143,24	22263,37

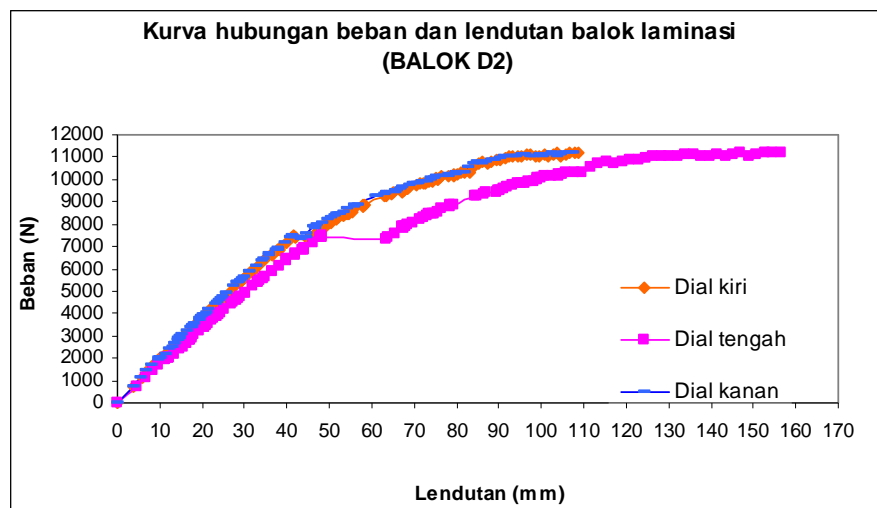
Hasil pengujian sifat mekanika menunjukkan bahwa kuat tarik sejajar serat jauh lebih tinggi daripada kuat tekannya. Pada Pengujian lentur dilakukan dua kali pengujian dengan posisi kulit bambu diatas dan dibawah. Hal ini dilakukan karena susunan balok laminasi daging-daging dan kulit-kulit. Selain itu juga dikarenakan pada saat balok bambu yang telah dilaminasi pada bagian finishingnya dirapikan lagi dengan diplaner, kemungkinan posisi kulit yang diatas mulai menipis mendekati daging. Jadi untuk mengantisipasi nilai keamanan pada perhitungan L_{cr} maka dilakukan 2 pengujian lentur (posisi kulit diatas dan di bawah).

5.2 Kekuatan Balok Uji

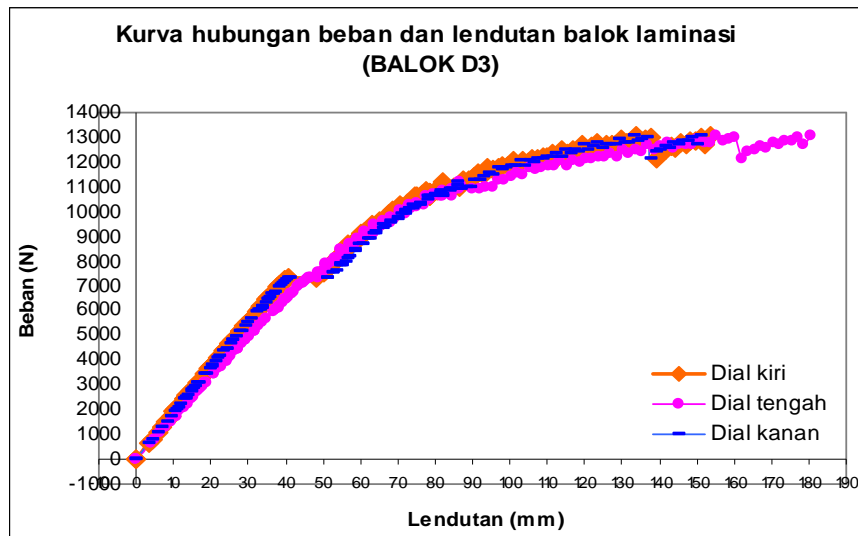
Pengujian yang telah dilakukan terhadap balok uji laminasi bambu petung dari Sleman menghasilkan data hubungan antara beban dengan lendutan pada tiga titik untuk masing-masing balok uji yang ditampilkan dalam bentuk grafik, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.1 sampai 5.3. Selengkapnya data hasil pengujian yang diperoleh dapat dilihat pada Lampiran G -1 sampai G-12



Gambar 5.1 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Balok D1

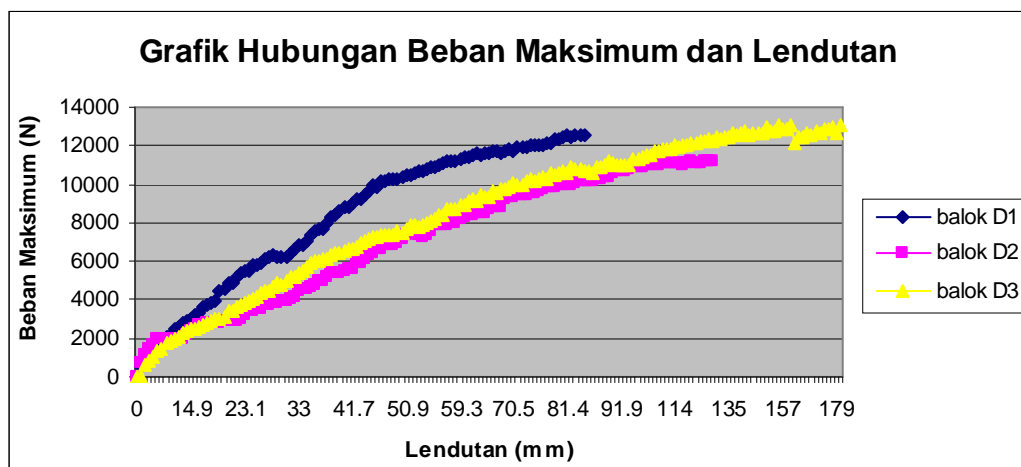


Gambar 5.2 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Balok D2



Gambar 5.3 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Balok D3

Hasil uji yang diperoleh pada masing-masing balok uji potongan bilah diperlihatkan pada Gambar 5.4, dengan nilai beban maksimum yang dapat didukung oleh balok uji D1 yaitu sebesar 12583,2 N dengan lendutan maksimum sebesar 134,05 mm, sedangkan untuk balok D2 sebesar 11211,2 N dengan lendutan maksimum 156,46 mm, dan untuk balok D3 sebesar 13063,4 N dengan lendutan maksimum 180,41 mm. Dari Gambar 5.1. terlihat bahwa balok D3 cenderung lebih baik dari balok D1 dan D2, hal ini mungkin disebabkan pengerjaan pada balok D1 dan D2 kurang baik dari pada balok D3 atau terjadi kesalahan operator dalam mengambil data pada mesin Data Logger.



Gambar 5.4. Hubungan Beban dan Lendutan Balok Uji D1, D2, dan D3

5.3 Kuat Lentur Balok Laminasi

Kuat lentur balok laminasi ditunjukkan dengan besaran MOR dan MOE, seperti halnya tampak pada Tabel 5.5 dan tabel 5.6. Nilai MOR dipengaruhi oleh besarnya momen, dan momen inersia dari balok tersebut. Nilai MOE dipengaruhi oleh lendutan, besarnya beban, bentang, jarak tumpuan ke beban dan momen inersia balok laminasi.

Berdasarkan data yang dihasilkan dari pengujian terhadap balok uji menunjukkan pada data MOR tabel 5.5 menunjukkan ada satu balok uji yang dianggap gagal, karena hasil MOR yang terlalu jauh hasilnya dengan dua balok laminasi yang lain. Hal ini kemungkinan terjadi karena didalam pembuatan balok uji D2 terjadi kesalahan dalam proses perekatan (penggunaan perekat yang tidak disimpan pada tempat yang seharusnya/tempat terbuka) atau kesalahan operator (*human error*) saat mengambil data pada mesin Data Logger. Sehingga dalam perhitungan rata-rata MOR untuk data D2 tidak dipakai. Perhitungan MOR dan MOE selengkapny dapat dilihat pada Lampiran H-1 sampai H-3.

Tabel 5.5. Hasil MOR balok uji bambu dari Sleman

Kode Balok	Penampang		Panjang L (mm)	MOR	
	Lebar (mm)	tinggi (mm)		Hasil (MPa)	Rata-rata (MPa)
Balok D1	51	71,3	2100	102,02	102,95
Balok D2	51,3	71,3	2100	90,37	
Balok D3	52	71,3	2100	103,88	

Tabel 5.6. Hasil MOE Balok Uji dari Sleman

Kode Balok	Penampang		P L (mm)	P a (mm)	MOE	
	L (mm)	T (mm)			Hasil (MPa)	Rata-rata (MPa)
Balok D1	51	71,3	2100	700	17003,97	16309,04
Balok D2	51,3	71,3	2100	700	16437,09	

Balok D3	52	71,3	2100	700	15486,07	
----------	----	------	------	-----	----------	--

Dari Tabel 5.6 hasil pengujian MOE didapatkan hasil balok uji D1 mempunyai kecenderungan MOE lebih kecil.

5.4 Pola Keruntuhan Balok Uji

Tegangan geser dan tegangan lentur pada balok berpenampang empat persegi panjang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.34 dan 3.35. Sedangkan panjang kritis balok, panjang balok saat terjadi keruntuhan geser bersamaan dengan keruntuhan lentur, dapat dihitung dengan menyamakan beban pada saat terjadi tegangan geser maksimal (P_{geser}) terhadap beban pada saat terjadi tegangan lentur maksimal (P_{lentur}) sesuai dengan kondisi pembebanan pada saat pengujian. Penentuan panjang kritis tersebut menggunakan asumsi bahwa balok bersifat homogen. Pada saat kondisi empat titik pembebanan dengan beban diletakkan pada 1/3 bentang (four point bending), panjang kritis dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

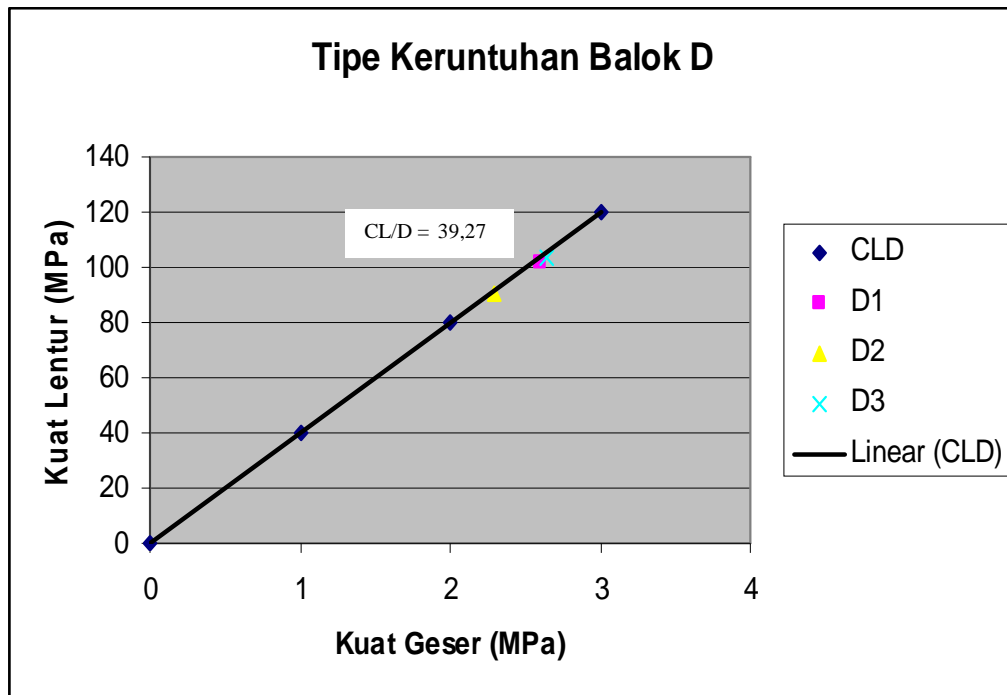
$$L_{cr} = \frac{6 \cdot \sigma \cdot h}{8 \cdot \tau} \quad (5.1)$$

Persamaan diatas dapat ditulis sebagai berikut

$$\frac{\sigma}{\tau} = \frac{8L}{6h} \quad (5.2)$$

Kondisi C, persamaan 5.2 diperoleh nilai 8/6. bentang balok 210 cm dan tinggi balok rata-rata dari 3 balok 71,3 cm sehingga nilai $CL/d = 39,27$

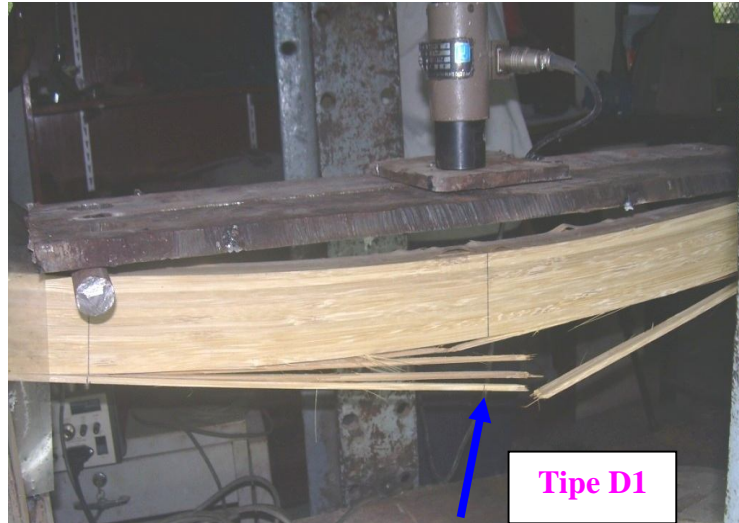
Hasil pengujian yang dilakukan terhadap balok uji secara umum cenderung menghasilkan pola keruntuhan yang seragam, yaitu pola keruntuhan lentur. Tipe keruntuhan yang dihasilkan dapat terlihat dari grafik yang menggunakan rasio L/d , seperti yang terlihat pada Gambar 5.5. perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran I-1



Gambar 5.5 Pola Keruntuhan Balok Laminasi Bambu Petung dari Sleman Berdasarkan grafik yang diperlihatkan pada Gambar 5.5. menunjukkan bahwa titik-titik data kuat lentur dan kuat geser dari seluruh balok uji berada hampir segaris pada garis CL/d akan tetapi cenderung terletak pada bagian bawah dari garis CL/d . Indikasi tersebut menandakan bahwa secara umum tipe keruntuhan yang dialami oleh seluruh balok uji adalah keruntuhan lentur. Selengkapnya mengenai pola kerusakan yang dialami oleh masing-masing balok uji dijelaskan dalam uraian berikut:

5.4.1. Balok uji potongan bilah D1

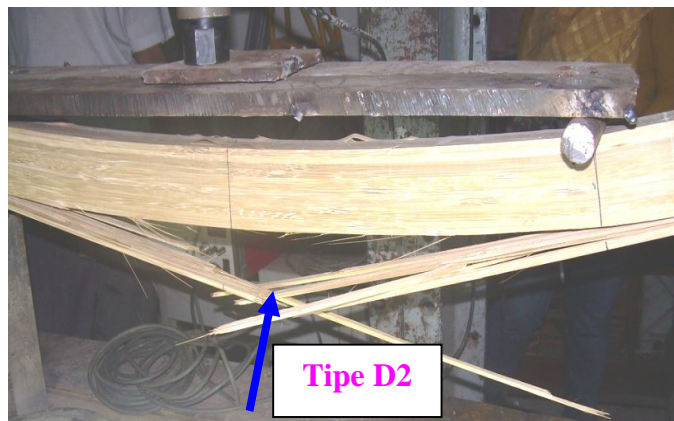
Hasil pengujian yang dilakukan terhadap balok uji potongan bilah menghasilkan pola keruntuhan yang terjadi di tengah bentang balok. Secara umum balok uji mengalami kegagalan lentur, kegagalan yang terjadi tidak menimbulkan kerusakan pada balok hingga *load indicator* tidak lagi mampu membaca beban. Secara visual pola keruntuhan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6. Pola keruntuhan balok uji D1

5.4.2. Balok uji potongan bilah D2

Hasil pengujian yang dilakukan terhadap kedua balok uji potongan bilah menghasilkan kerusakan terjadi pada bagian pembagi beban juga pada bidang perekatan bilahnya. Secara umum balok uji mengalami kegagalan lentur, kegagalan yang terjadi tidak menimbulkan kerusakan pada balok hingga *load indicator* tidak lagi mampu membaca beban. Secara visual pola keruntuhan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.7.

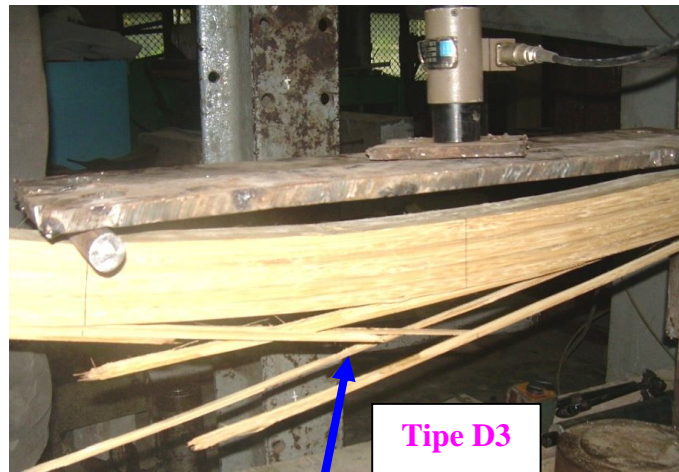


Gambar 5.7. Pola keruntuhan balok uji D2

5.4.3. Balok uji potongan bilah D3

Hasil pengujian yang dilakukan terhadap kedua balok uji potongan bilah menghasilkan kerusakan terjadi pada bagian pembagi beban juga pada bidang

perekatan bilahnya. Secara umum balok uji mengalami kegagalan lentur, kegagalan yang terjadi tidak menimbulkan kerusakan pada balok hingga *load indicator* tidak lagi mampu membaca beban. Secara visual pola keruntuhan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8. Pola keruntuhan balok uji D3

5.5 Klasifikasi Kekuatan Balok Laminasi

Dari hasil pengujian pendahuluan didapat besarnya kadar air dan kerapatan bambu petung. Dari data tersebut dapat dipakai dalam perhitungan kuat acuan kayu sesuai SNI 2002 dan diperoleh hasil bahwa bambu termasuk dalam kode mutu E_{13} . Setelah didapat hasil kekuatan balok laminasi dapat dimasukkan dalam kode mutu acuan kayu menurut SNI 2002 dan balok laminasi termasuk dalam kode mutu E_{17} . Perhitungan selengkapnya acuan kekuatan kelas kode mutu kayu dapat dilihat pada lampiran J-1 sampai lampiran J-2. Hal ini menunjukkan bahwa bambu petung ketika sudah disusun dalam menjadi balok dengan proses laminasi memiliki kuat elastisitas lebih besar dibandingkan bambu petung yang masih dalam kondisi utuh atau belum mengalami proses laminasi.

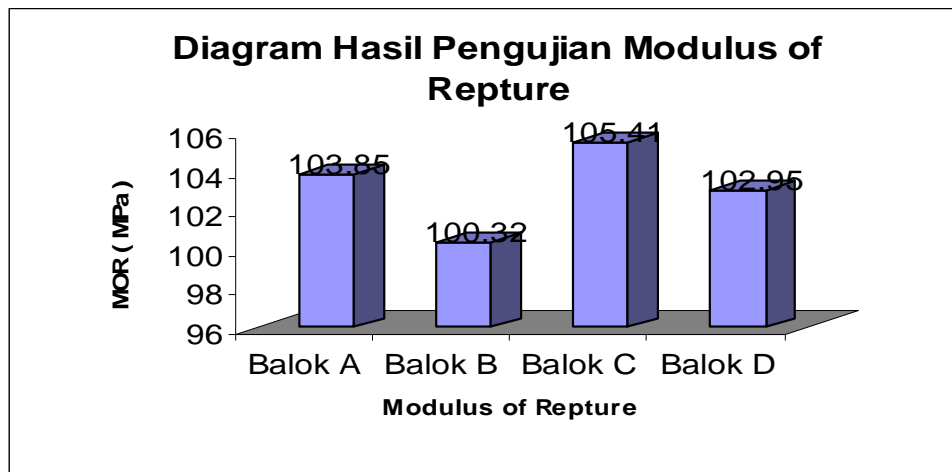
Sesuai Tabel 2.1 kekuatan balok laminasi terutama kuat lentur sebesar 102,95 MPa, balok laminasi tipe D termasuk dalam kelas kuat II.

Penelitian ini, disamping meneliti balok laminasi dengan tipe vertikal dengan susunan yang sama juga dilakukan penelitian oleh tiga peneliti yang lain dengan tipe yang berbeda. Selengkapnya mengenai klasifikasi balok laminasi bambu petung dari keempat tipe disajikan pada Tabel 5.7.

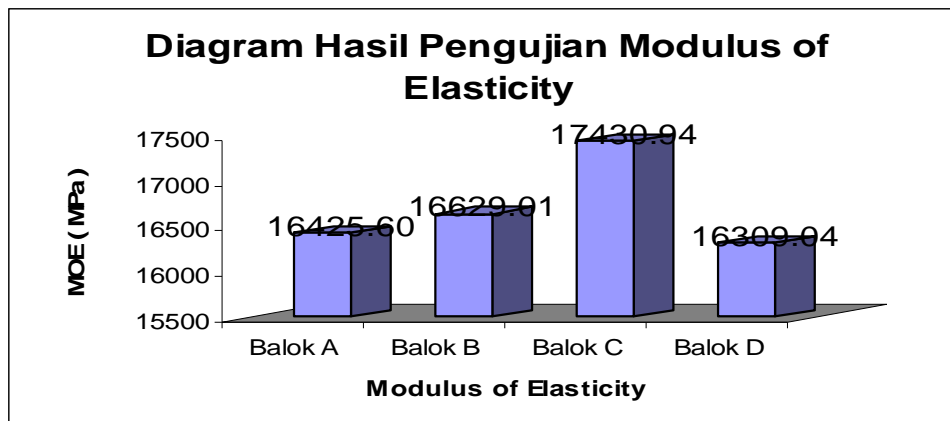
Tabel 5.7. Klasifikasi Balok Laminasi Bambu Petung

Kode Balok		A	B	C	D
Model Susunan Bilah		Horisontal	Horisontal	Vertikal	Vertikal
Model Sisi Bilah		Berbeda	Sama	Berbeda	Sama
Nilai MOR (MPa)		103,85	100,31	105,40	102,95
Kuat Kelas Kayu MOR	PKKI NI-5 1961	Kelas II	Kelas II	Kelas II	Kelas II
	SNI-05 2002	E26	E26	E26	E26
Nilai MOE (MPa)		16425,60	16629,01	17430,93	16309,04
Kuat Kelas Kayu MOE					
	SNI-05 2002	E18	E17	E17	E16

Perbandingan kekuatan hasil pengujian MOE dan MOR balok dari keempat tipe dapat dilihat pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10.



Gambar 5.9 Hasil Pengujian MOR Keempat Tipe Balok



Gambar 5.10 Hasil Pengujian MOE Keempat Tipe Balok

Keterangan :

Balok A = balok laminasi bambu petung susunan horisontal daging-kulit.

Balok B = balok laminasi bambu petung susunan horisontal daging-daging kulit-kulit.

Balok C = balok laminasi bambu petung susunan vertikal daging kulit.

Balok D = balok laminasi bambu petung susunan vertikal daging-daging kulit-kulit.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian sifat fisika dan mekanika bambu petung dari Sleman, serta pengujian yang dilakukan terhadap benda uji balok laminasi. Maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Uji pendahuluan bambu petung untuk sifat fisika menghasilkan kadar air dan kerapatan sebesar 9,44 % dan $0,73 \text{ gr/cm}^3$, sedangkan uji mekanika menunjukkan nilai rata-rata kuat tekan sejajar serat sebesar 54,90 MPa, tekan

tegak lurus serat sebesar 19,89 MPa, tarik sejajar serat sebesar 166,59 MPa, geser sejajar serat 10,27 MPa, MOR&MOE (kulit di atas) sebesar 184,1798 MPa dan 16814,55 MPa dan MOR&MOE (kulit dibawah) sebesar 143,24 MPa dan 222263,37 MPa.

2. Dari hasil uji kekuatan lentur balok D didapatkan nilai rata-rata kekuatan lentur balok laminasi sebagai berikut : MOR sebesar 102,95 MPa dan MOE sebesar 16309,043 MPa.
3. Sesuai SNI-05 2002 dari hasil kuat MOR dan MOE balok tipe D termasuk dalam klasifikasi kelas kuat E26 dan E17, sedangkan sesuai PKKI NI-5 1961 dari hasil kuat MOR dan MOE balok tipe D termasuk kelas kuat II dan I.
4. Dari keempat model susunan balok laminasi bambu petung diperoleh bahwa susunan vertikal mempunyai MOR cenderung lebih besar daripada susunan horizontal. Hal ini dikarenakan pada pengujian vertikal (arah tangensial), kontrol kekuatan ada pada bambu bagian luar dan tekstur penguat bambu untuk menahan beban lebih merata dibandingkan yang horisontal.

6.2 Saran

1. Perlunya penelitian lebih lanjut pada variasi lebar bilah pada dimensi balok laminasi yang berbeda hingga didapatkan lebar bilah yang optimal dan efisien.
2. Perlu diperhatikan pada saat proses pencampuran bahan-bahan perekat, hingga proses perekatan menjadi lebih optimal dan menghasilkan bidang rekat yang baik hingga tidak terjadi keruntuhan geser antar lamina.
3. Perlunya mesin pembuat bilah yang khusus agar bilah lebih presisi dan lebih menghemat waktu serta dimungkinkan meningkatkan kekuatan

